

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh vodojemu o objemu 400 l
Design of Reservoir with 400 l Capacity

Student:

Bc. Jan Klec

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Klec**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 70 Zemní, těžební a stavební stroje
Téma: Návrh vodojemu o objemu 400 l
Design of Reservoir with 400 l Capacity

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce zpracujte stručnou rešerši dané problematiky. Navrhněte vodojem v ocelové hrubé stavbě vozu pro vozy typu AMPZ/BMZ pro dálkovou dopravu. Objem vodojemu volte 400 litrů. Při návrhu berte zřetel na zastavěný prostor, tolerance hrubé stavby a použití vhodných materiálů do korozivního prostředí. Součástí řešení je rovněž výpočet možného obsazení vozu podle směrnice UIC 563 a pevnostní kontrola navrženého řešení. Bližší specifikace provozních podmínek a dalších relevantních parametrů určí zadavatel – SIEMENS, s.r.o.

Seznam doporučené odborné literatury:

JEŘÁBEK, K. *Metodika navrhování strojů*. 1. vydání, Praha: Ediční středisko ČVUT v Praze, 1999. 119 s.
KOLÁŘ, J. *Teoretické základy konstrukce kolejových vozidel*. Praha: Ediční středisko ČVUT v Praze, 2009. 276 s.
ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
Odborná literatura včetně norem (DIN 25043) a vyhlášek (UIC 563, UIC 566).

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Jan Klec

Adresa trvalého pobytu autora práce:

I. P. Pavlova 36, Olomouc, 779 00

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KLEC, J. *Návrh vodojemu o objemu 400l*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2014, 75 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Fries, PH.D.

Diplomová práce se zabývá návrhem vodojemu o objemu 400 litrů. Vodojem je umístěn v ocelové hrubé stavbě pro typ vozu AMPZ/BMZ pro dálkovou dopravu. Součástí řešení je výpočet možného obsazení vozu. Konstrukční návrh vodojemu byl zpracován formou 3D modelu v programu Inventor 2014.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

KLEC, J. *Design of Reservoir with 400 l Capacity*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2014, 75 s. Thesis head: doc. Ing. Jiří Fries, PH.D.

The diploma thesis deals with a proposal of the reservoir with 400 l capacity. Reservoir is placed in steel crude construction for type of coach AMPZ/BMZ for long-distance transport. Part of a solution is calculation of possible coach occupation. Structural desing of reseivor is processed by 3D models in program Inventor 2014.

Poděkování

Rád bych touto formou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Friesovi, Ph.D. a konzultantovi z firmy SIEMENS s.r.o. Ing. Martinovi Šubertovi za strávený čas konzultacemi, podmětné připomínky a odbornou pomoc při zpracování diplomové práce.

Obsah

0	Úvod	13
1	Moderní osobní kolejová doprava	14
1.1	Sociální zařízení v moderních vozech kolejové dopavy	14
2	Základní parametry	15
3	Nádrž	16
3.1	Návrh nádrže	16
3.1.1	Výška hladiny	16
3.1.2	Opláštění nádrže	17
3.1.3	Materiál nádrže	18
3.1.4	Metoda výroby	18
3.2	Pevnostní kontrola nádrže	18
3.2.1	Zatížení nádrže	18
3.2.2	Výpočet zatěžujících sil	19
3.2.3	Příprava	19
3.3	Výsledky pevnostní kontroly	23
3.3.1	Výsledky dna nádrže	23
3.3.2	Výsledky boku nádrže	27
3.3.3	Výsledky čela nádrže	30
3.4	Kontrola šroubu víka	34
3.4.1	Materiál šroubového spoje	34
3.4.2	Výpočet osově síly	35

3.4.3	Úplná pevnostní kontrola šroubu M10x25 80 DIN 933/A4	37
3.4.4	Stanovení utahovacího momentu.....	38
3.5	Upevnění nádrže	38
3.5.1	Materiál upevňovací patky	39
3.5.2	Pevnostní kontrola patky	39
3.6	Příslušenství nádrže	39
3.6.1	Vstupy a výstupy	39
3.6.2	Měření výšky hladiny	41
4	Hrubá stavba vozu.....	43
4.1	Úpravu hrubé stavby vozu	43
4.2	Patka hrubé stavby	44
4.2.1	Materiál patky hrubé stavby	44
4.2.2	Metoda výroby patky.....	44
4.3	Pevnostní kontrola patky hrubé stavby	45
4.3.1	Výpočet společného težiště	45
4.3.2	Výpočet zatěžující síly.....	49
4.3.3	Příprava.....	49
4.4	Výsledky pevnostní analýzy	54
4.4.1	Výsledky v podélném směru	54
4.4.2	Výsledky v příčném směru	58
4.4.3	Výsledky ve vertikálním směru	60
5	Spojení nádrže s hrubou stavbou vozu.....	64

5.1	Materiál šroubového spoje	65
5.2	Kontrola šroubu	65
5.2.1	Určení působiště zatěžující síly a její velikost.....	65
5.2.2	Výpočet osově síly jednoho šroubu.....	66
5.2.3	Úplná pevnostní kontrola šroubu M16x80 80 DIN 933/A4	67
5.2.4	Stanovení utahovacího momentu	68
5.3	Kontrola plastové vložky	69
6	Obsazení vozu	71
7	Závěr.....	72
8	Literatura	73
9	Seznam příloh.....	75
9.1	Tištěné přílohy	75
9.2	Přiložený disk.....	75

Seznam použitých symbolů a značek

<i>Značka</i>	<i>Význam</i>	<i>Jednotka</i>
a	Vzdálenost; délka	[mm]
b	Vzdálenost; délka	[mm]
b_y	Výška hladiny v příčném směru	[mm]
c	Velikost přetížení; délka	[-];[mm]
c_x	Výška hladiny v podélném směru	[mm]
D_s	Roztečný třecí průměr	[mm]
d	Průměr otvoru; počet dní	[mm];[-]
d_0	Průměr podložky	[mm]
d_2	Střední průměr závitu	[mm]
d_3	Malý průměr závitu	[mm]
F	Síla	[N]
F_o	Osová síla	[N]
F_{oc}	Celková osová síla	[N]
F_{om}	Osová síla bránící momentu	[N]
F_{on}	Osová síla bránící posunutí	[N]
F_x	Podélná síla	[N]
$F_{x\,nv}$	Celková podélná síla	[N]
F_y	Příčná síla	[N]
$F_{y\,nv}$	Celková příčná síla	[N]
F_z	Vertikální síla	[N]
$F_{z\,nv}$	Celková vertikální síla	[N]
f	Součinitel tření	[-]
f_z	Součinitel tření na závitu	[-]
g	Gravitační zrychlení	[ms ⁻²]
h	Počet hodin provozu denně	[-]
i	Počet šroubů	[-]
k	Bezpečnost	[-]
k_s	Statická bezpečnost	[-]
M_u	Utahovací moment	[Nm]
$M_{u\,max}$	Maximální utahovací moment	[Nm]
m_v	Hmotnost vody	[kg]

m_n	Hmotnost nádrže	[kg]
P_h	Stoupání závitu	[mm]
p	Měrný tlak	[MPa]
p_{dov}	Dovolený měrný tlak	[MPa]
R_e	Mez kluzu v tahu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
S	Plocha	[mm ²]
s	Počet sedadel	[-]
s_k	Velikost klíče	[mm]
V	Objem vodojemu	[l]
V_r	Objem vody na ruce	[l]
V_w	Objem vody na spláchnutí	[l]
v_v	Výška hladiny vody	[mm]
X_{Tcx}	X – souřadnice celkového těžiště v podélném směru	[mm]
X_{Tcy}	X – souřadnice celkového těžiště v příčném směru	[mm]
X_{Tcz}	X – souřadnice celkového těžiště ve vertikálním směru	[mm]
X_{Tn}	X – souřadnice těžiště nádrže	[mm]
X_{Tx}	X – souřadnice těžiště vody v podélném směru	[mm]
X_{Ty}	X – souřadnice těžiště vody v příčném směru	[mm]
X_{Tz}	X – souřadnice těžiště vody ve vertikálním směru	[mm]
Y_{Tcx}	Y – souřadnice celkového těžiště v podélném směru	[mm]
Y_{Tcy}	Y – souřadnice celkového těžiště v příčném směru	[mm]
Y_{Tcz}	Y – souřadnice celkového těžiště ve vertikálním směru	[mm]
Y_{Tn}	Y – souřadnice těžiště nádrže	[mm]
Y_{Tx}	Y – souřadnice těžiště vody v podélném směru	[mm]
Y_{Ty}	Y – souřadnice těžiště vody v příčném směru	[mm]
Y_{Tz}	Y – souřadnice těžiště vody ve vertikálním směru	[mm]
Z_{Tcx}	Z – souřadnice celkového těžiště v podélném směru	[mm]
Z_{Tcy}	Z – souřadnice celkového těžiště v příčném směru	[mm]
Z_{Tcz}	Z – souřadnice celkového těžiště ve vertikálním směru	[mm]
Z_{Tn}	Z – souřadnice těžiště nádrže	[mm]
Z_{Tx}	Z – souřadnice těžiště vody v podélném směru	[mm]
Z_{Ty}	Z – souřadnice těžiště vody v příčném směru	[mm]

Z_{Tz}	Z – souřadnice těžiště vody ve vertikálním směru	[mm]
z	Výška dna nádrže	[mm]
z_z	Výška hladiny ve vertikálním směru	[mm]
β	Vrcholový úhel závitů	[°]
ρ_v	Hustota vody	[kg.dm ⁻³]
$\sigma_{dov t}$	Dovolené napětí v tlaku	[MPa]
σ_{RED}	Redukované napětí	[MPa]
σ_t	Napětí v tlaku	[MPa]
τ	Napětí v krutu	[MPa]
φ'	Třecí redukovaný úhel	[°]
ψ	Úhel stoupání závitů	[°]

0 Úvod

Cestování a jeho kvalita se odvíjí od způsobu dopravy a kvality dopravního prostředku. Kvalita dopravního prostředku se neodvíjí jen od jeho výkonu a rychlosti, ale například taky sociálním zázemím. Kolejová doprava se v tomhle směru vyvíjí nejrychleji ze všech typů dopravy, hlavně na našem území.

V mé práci jsem dostal za úkol se na zlepšení kvality taky podílet, a to tím že navrhnu novou, větší nádrž do vozu AMPZ/BMZ pro dálkovou dopravu. Celé mé řešení musí odpovídat příslušným normám, které pro kolejová vozidla platí.

1 Moderní osobní kolejová doprava

Dnešní světová osobní kolejová doprava se upíná k takzvaným rychlovlakům, které mají konkurovat dálniční osobní dopravě. Na území naší republiky jsou v dnešní době provozovány dva typy rychlostních souprav. První je Pendolino italské firmy Fiat Ferroviaria, patřícího dnes ke skupině Alstom, které provozují České dráhy. Druhou je černá souprava Stadler Flirt v modifikaci InterCity od švýcarské společnosti Stadler, která jezdí pod značkou Leo expres. V nejbližší době by se na českých kolejích měl objevit třetí typ soupravy a to Siemens Viaggio Comfort, od společnosti Siemens, kterou bude provozovat dopravce České dráhy.

V moderních vlacích pro dálkovou dopravu se dbá na zvýšení přepravního komfortu a to v závislosti na druhu dopravy. Nevzhledné těsné kupé prostory jsou nahrazovány multikapacitními vozy s uspořádáním, jako v letadle. Vozy s tímto uspořádáním pojmu více cestujících s větším prostorem pro jednoho cestujícího. Každé místo může nabídnout stejný standart, a to stoleček, odpadkový koš, opěrku na nohy a zásuvku. V moderním vagónu by neměla žádná z uvedených věcí chybět. V každém vagónu nesmí chybět také alespoň jedna toaleta, standardně se ale umísťují dvě toalety.

1.1 Sociální zařízení v moderních vozech kolejové dopravy

Kvalita sociálního zázemí v moderních vozech roste stejně jako další konstrukční celky vozů. Dnes už nepřichází v úvahu jiné řešení toalet, než s retenční nádrží a vakuovým systémem splachování. Tento systém zaručí kvalitní odvod odpadu s využitím malého množství vody. V interiéru toalet, se využívá moderních lehce čistitelných materiálů, jako je nerez, kámen, dřevo či laminát.

Zásobování sociálních zařízení vodou je prováděno z připojené nádrže na vodu, která zaručí zásobování vodou jak pro umyvadlo, tak i pro záchod na celých 24 hodin. Nádrže jsou zpravidla nerezové nádoby umístěné nad stropem sociální místnosti. Její uchycení je možné hned několika způsoby. Hlavním parametrem, který určuje způsob uchycení je typ hrubé vozové stavby. Tato hrubá vozová stavba může být buď hliníková nebo ocelová. U hliníkových hrubých staveb se využívá často „c-drážek“, do kterých zapadají kameny se závitem. V hrubé ocelové stavbě se nejčastěji využívá šroubového spoje.

2 Základní parametry

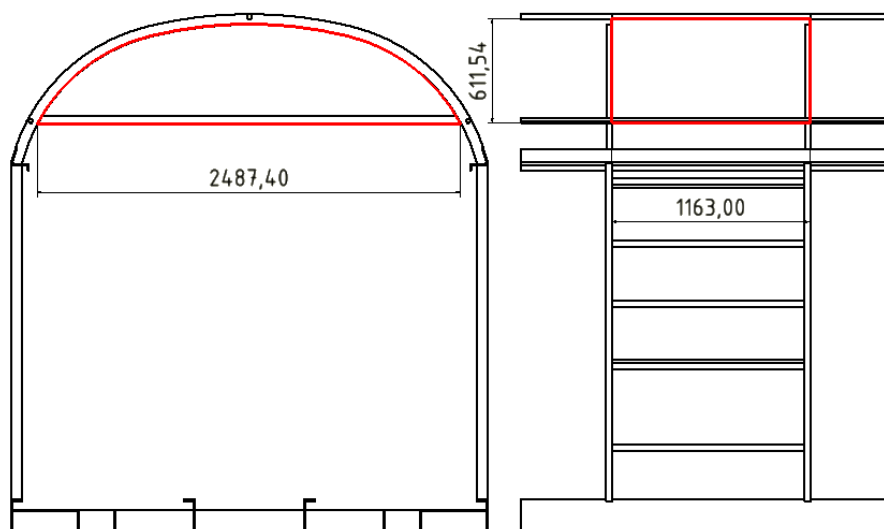
Základem pro navržení a výpočet nádrže, byly kritéria a informace dané zadávající firmou Siemens s.r.o. Vozová skříň je vyrobená z konstrukční oceli. Ocelová vozová skříň je svařovaná. Skříň je vyrobená v určité toleranci, která je určena výkresovou dokumentací dané vozové skříně.

Základní tolerance částí, které by mohly ovlivnit schopnost provozu vlaku nebo jeho části, jsou uvedeny v normě DIN 25 043 část 2 [1]. Dle této normy si musím při navrhování nádrže dát pozor na toleranci šířky vozu. Tato tolerance má hodnotu +0 mm a -11 mm.

Další délkové a úhlové rozměry, které nejsou popsány normou DIN 25 043 část 2 [1], se řídí podle normy ČSN EN ISO 13 920 [2]. Podle této normy musím počítat s tím, že vzdálenost L -profilů, ke kterým nádrž budu připevňovat má toleranci ± 4 mm.

Další norma, kterou jsem se musel při navrhování řídit, je UIC 563 [3]. Tato norma se zabývá zařízením vozu, které slouží pro hygienu a čistotu cestujících. Z normy vyplívá, že nádrž musí být nerezová, musí mít určitou velikost a také musí být vybavená ukazatelem výšky hladiny.

Velikost nádrže a její maximální rozměry, které vyplívají z hrubé stavby vozu, byly dodány firmou Siemens s.r.o. Objem vody v nádrži má být 400 litrů. Velikost a tvar prostoru jsou červeně zvýrazněné na obrázku 2.1.



Obr. 2.1 – Hrubá stavba vozu

3 Nádrž

3.1 Návrh nádrže

Nádrž jsem začal navrhovat od jejích vnitřních rozměrů. Za tvar nádrže jsem si vybral kvádr s obdélníkovou základnou. Rozměry základny jsem si určil podle velikosti prostoru, kde se nádrž má upevnit, tak aby mi zbyl dostatek prostoru pro připevnění nádrže, a také nechal dostatek prostoru dalším sekcím, které zde budou montovat své části, jako například: klimatizace, elektrorozvody, izolace,...

Celý návrh nádrže jsem se rozhodl zkontrolovat jako celek pomocí pevnostní analýzy založené na metodě konečných prvků v programu Inventor 2014.

3.1.1 Výška hladiny

Na obrázku 3.1 jsou patrné vnitřní rozměry obdélníkové základny, na jejichž základě jsem dopočítal výšku hladiny.



Obr. 3.1 – Výška hladiny

Hodnoty: $a=1560$ mm $b=1000$ mm $V=400$ l= $400 \cdot 10^6$ mm³

$$V = a \cdot b \cdot v_v \quad (1)$$

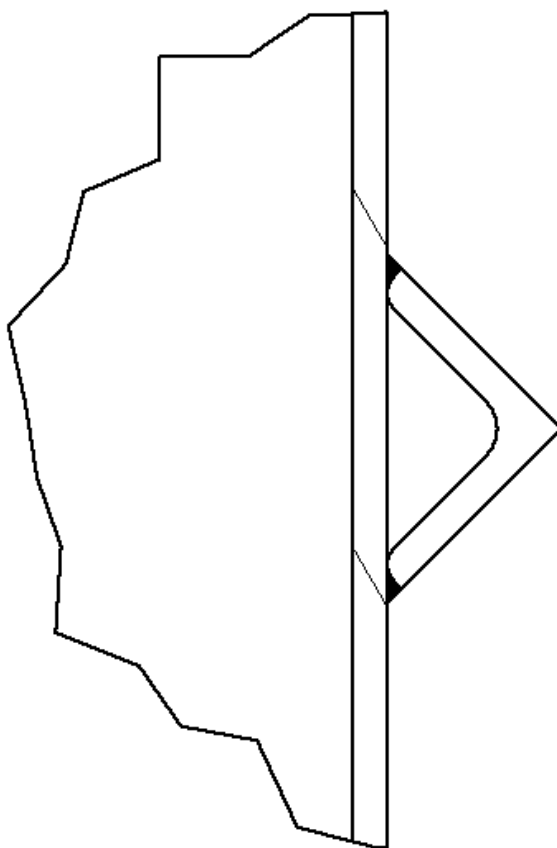
$$v_v = \frac{V}{a \cdot b} = \frac{400 \cdot 10^6}{1000 \cdot 1560} = 256,4 \text{ mm} \quad (2)$$

Výška hladiny vyšla 256,4 mm. Výšku přepadu, a tedy maximální výšku hladiny jsem zvolil 260 mm. To z důvodu, že ve vypočtené výšce hladiny se nepočítá s přítomností trubek pro přívod vody, přepadu a koutových svarů. Samotná vnitřní výška nádrže byla zvolena 307 mm, to proto, aby do prostoru mezi hladinu a víko nádrže bylo možné na přívodové trubce vytvořit oblouk.

3.1.2 Opláštění nádrže

Při navrhování síly stěn nádrže jsem se rozhodl sílu stěn odstupňovat. Na dno a víko, které mají největší plochu a jsou neustále zatíženy váhou vody, jsem zvolil plech o síle 4mm. Čelo nádrže, o rozměrech 1560x307 mm, je podle vyhlášky UIC 566 [4] v krajních případech zatíženo největším přetížením, tak jsem se rozhodl také pro sílu plechu 4 mm. Bok nádrže, o rozměrech 1000x307 mm, má nejmenší plochu a je podle vyhlášky UIC 566 [4] nejméně přetížen, tak jsem zvolil sílu plechu 3 mm.

Celé opláštění nádrže jsem se rozhodl ještě obvodově vyztužit L – profilem o rozměrech 20x20x3. Profil byl umístěn ke stěně nádrže svou volnou hranou tak, že vznikne trojúhelníkový tvar, jak je vidět na obrázku 3.2.



Obr. 3.2 – Vyztuž nádrže

3.1.3 Materiál nádrže

Materiál nádrže musí být podle vyhlášky IUC 563 [3] odolný korozi. Na základě těchto kritérií volím ocel 1.4571. Jako dodavatele potřebných polotvarů jsem si našel firmu NOVEL s.r.o.[5], která má ve své nabídce jak plechy, tak i L – profily z této oceli. Na obrázku 3.3 jsou vidět mechanické vlastnosti oceli 1.4571 podle normy EN 10088-2 [6].

EN 10088-2:2005 (D)

Tabelle 10 (fortgesetzt)

Stahlbezeichnung	Kurzname	Werkstoffnummer	Erzeugnisform ^{b)}	Dicke mm max.	0,2 %- Dehngrenze	1 %- Dehngrenze	Zugfestigkeit R_m MPa ^{a)}	Bruchdehnung		Kerbschlagarbeit (ISO-V)		Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion ^{h)}	
					$R_{p0,2}$	$R_{p1,0}$ MPa ⁱ⁾ min. (quer) ^{d,e)}		A_{80} ^{d,f)} < 3 mm dick % min. (quer)	A ^{d,g)} ≥ 3 mm dick % min. (quer)	KV > 10 mm dick J min. (längs) J min. (quer)		im Lieferzustand	im sensibilierten Zustand ⁱ⁾
X2CrNiMoN17-11-2	1.4408		C	8	300	330	580	40	40	-	-	ja	ja
			H	13,5	280	320	bis 780			100	80		
			P ^{l)}	75	280	320							
X5CrNiMo17-12-2	1.4401		C	8	240	270	530 bis 680	40	40	-	-	ja	nein ⁱ⁾
			H	13,5	220	260	520 bis 670			100	80		
			P ^{l)}	75	220	260							
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571		C	8	240	270	540 bis 690	40	40	-	-	ja	ja
			H	13,5	220	260	520 bis 670			100	80		
			P ^{l)}	75	220	260							

Obr. 3.3 – Mechanické vlastnosti materiálu 1.4571

3.1.4 Metoda výroby

Ocelová nádrž bude svařovaná. Pro svaření všech komponentů na nádrži použiji metodu TIG a elektrodu OK Tigrod 318Si od dodavatele ESAB [7].

3.2 Pevnostní kontrola nádrže

3.2.1 Zatížení nádrže

Vyhláška UIC 566 [4] mimo jiné popisuje, jakým způsobem jsou části hrubé stavby, které jsou k ní připevněny, zatěžovány a určují maximální sílu, kterou musí daná část vydržet. Do této kategorie spadá i mnou navrhovaná nádrž. Vyhláška uvádí hodnoty přetížení a to takto:

- Podélně: 5 g
- Příčně: 1 g
- Vertikálně: c g, kde c= 3 na začátku vozu, a tato hodnota lineárně klesá ke středu vozu na hodnotu 1,5.

Samotná nádrž je zatížená pouze vodou. Kontrola bude probíhat jen s přetížením určeným vyhláškou, a k tomuto přetížení dochází jen v krizových krajních případech, proto jsem se rozhodl objem vody nahradit hmotným bodem. Podle vyhlášky se podélná síla označuje F_x , příčná F_y a vertikální F_z . Při pevnostní analýze se také nepočítá s výslednou silou těchto tří sil, ale součast se zatíží každou silou zvlášť v daném směru.

3.2.2 Výpočet zatěžujících sil

Hodnoty: $V=400 \text{ l}=400 \text{ dm}^3$ $\rho_v=1 \text{ kg.dm}^{-3}$

$$F_{x,y,z} = m_v \cdot c \cdot g \quad (3)$$

$$m_v = \frac{V}{\rho_v} = \frac{400}{1} = 400 \text{ kg} \quad (4)$$

$$F_x = m_v \cdot 3 \cdot g = 400 \cdot 3 \cdot 9,81 = 11772 \text{ N} \quad (5)$$

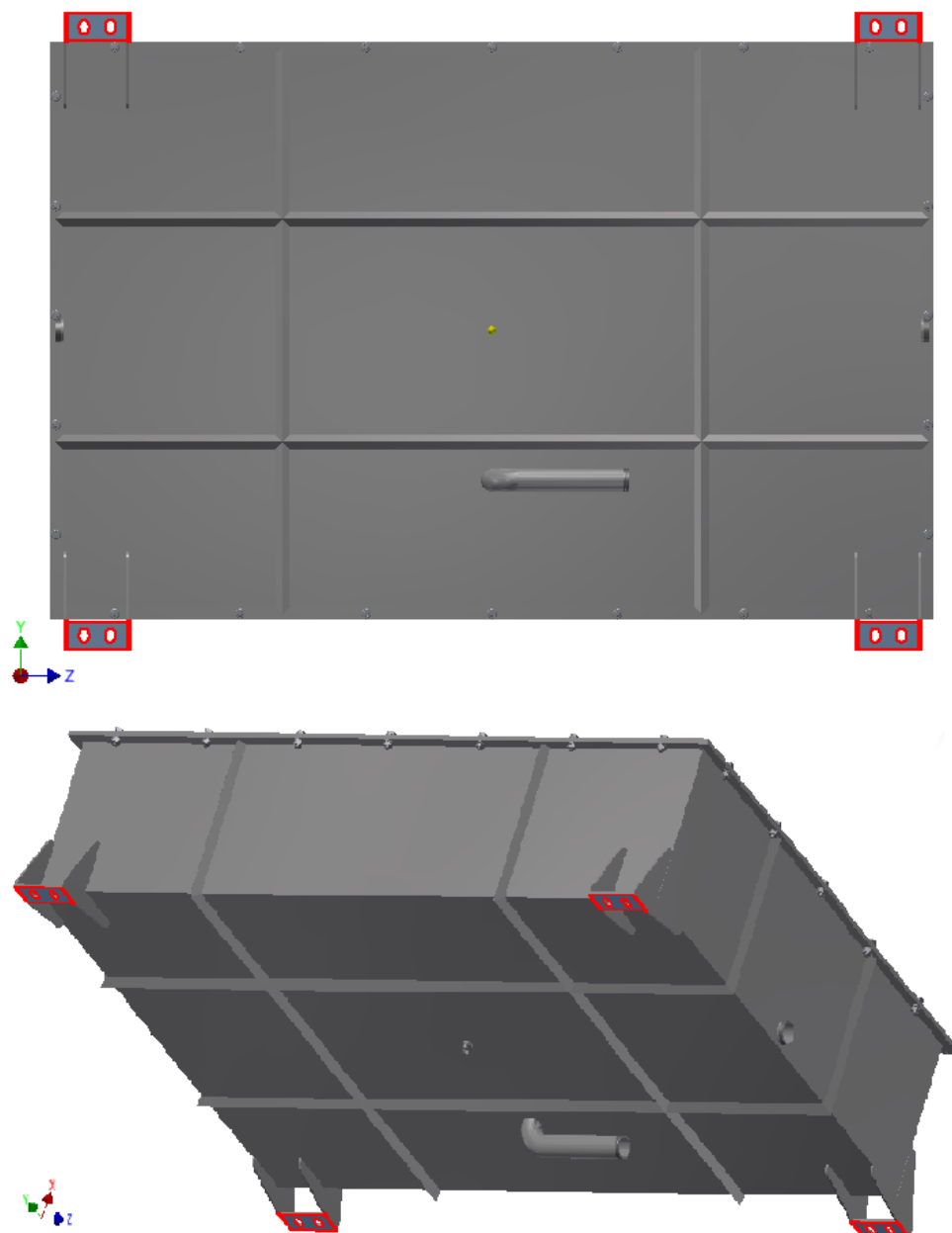
$$F_y = m_v \cdot 1 \cdot g = 400 \cdot 1 \cdot 9,81 = 3924 \text{ N} \quad (6)$$

$$F_z = m_v \cdot 5 \cdot g = 400 \cdot 5 \cdot 9,81 = 19620 \text{ N} \quad (7)$$

3.2.3 Příprava

Pevnostní kontrolu jsem provedl v programu Inventor 2014. Provedl jsem tři samostatné simulace pro každou zatěžující sílu zvlášť.

Společnými prvky pro všechny tři simulace byly okrajové podmínky, které byly tvořené pevnou vazbou na dosedacích plochách patek nádrže. Jejich umístění je vidět na obrázku 3.4.



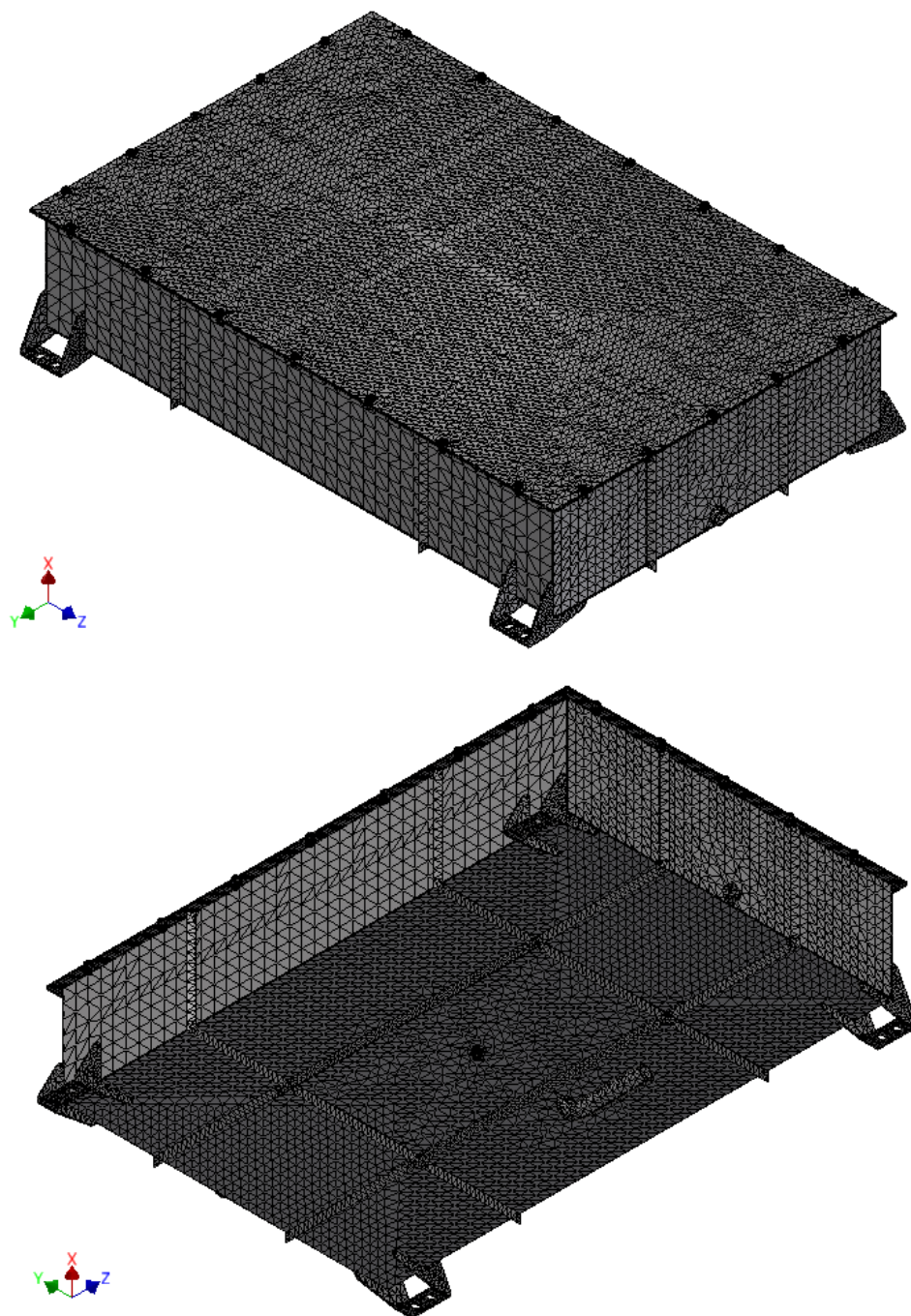
Obr. 3.4 – Okrajové podmínky

Také samozřejmě pro všechny simulace bylo společným prvkem správné nastavení hodnot materiálu. Tyto hodnoty vychází z obrázku 3.3 a jsou shrnuty v tabulce 3.1.

Tab. 3.1 – Mechanické vlastnosti materiálu 1.4571

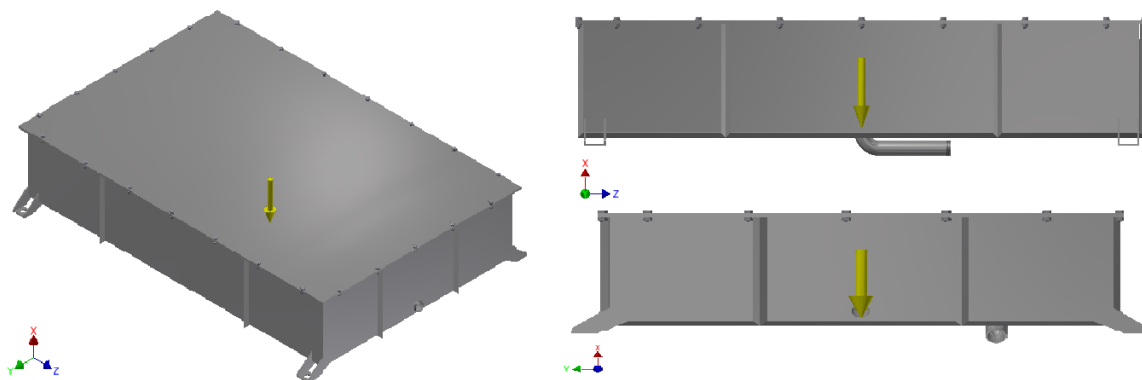
Název	Zkratka	Hodnota	Jednotka
Mez pevnosti v tahu	R_m	520	MPa
Mez kluzu v tahu	R_e	220	MPa

Pro všechny tři simulace jsem použil stejnou velikost sítě, kde průměrná velikost prvku byla 0,2 velikosti modelu a minimální 0,1 velikosti modelu. Model byl sítí rozdělen na 368 081 prvků s 649 558 uzly. Vzhled sítě je vidět na obrázku 3.5.

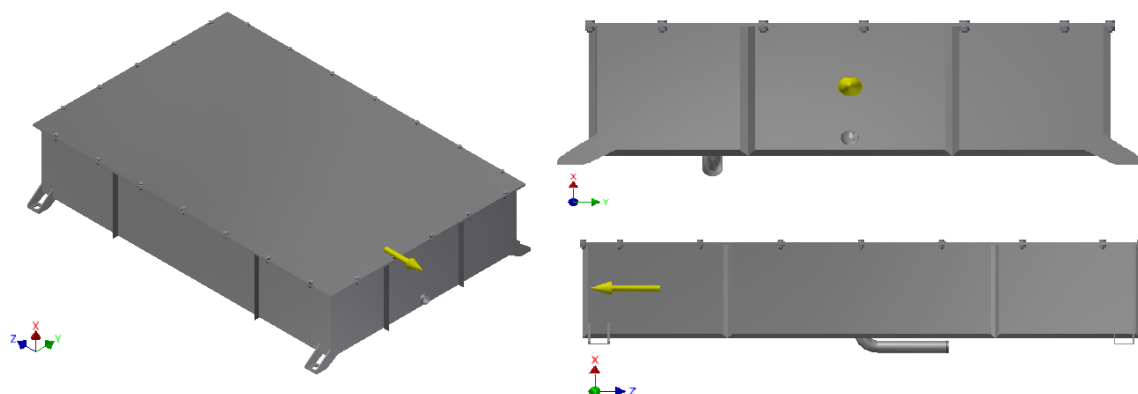


Obr. 3.5 – Výpočtová síť

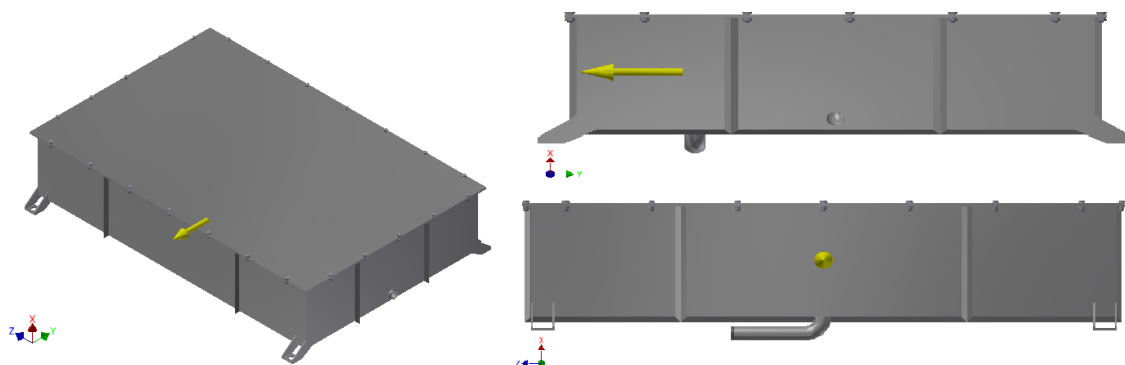
Než jsem spustil simulaci, musel jsem ještě nastavit pro každou simulaci zvlášť zatěžující sílu, a to jak její směr, tak i velikost. Zatížení dna silou F_z je patrné z obrázku 3.6. Zatížení boku silou F_y je vidět na obrázku 3.7 a zatížení čela nádrže silou F_x je zachyceno na obrázku 3.8. Velikosti zatěžujících sil jsou shodné s vypočítanými hodnotami v kapitole 3.2.2.



Obr. 3.6 – Zatížení dna



Obr. 3.7 – Zatížení boku



Obr. 3.8 – Zatížení čela

3.3 Výsledky pevnostní kontroly

Po dokončení simulace, program vytvoří hned několik typů výsledků. Ve své práci jsem se rozhodl zveřejnit jen ty nejdůležitější, díky kterým, jsem došel k závěru, že mnou navržená nádrž je v pořádku a můžu pokračovat v řešení dalších částí. Vybral jsem následující výsledky:

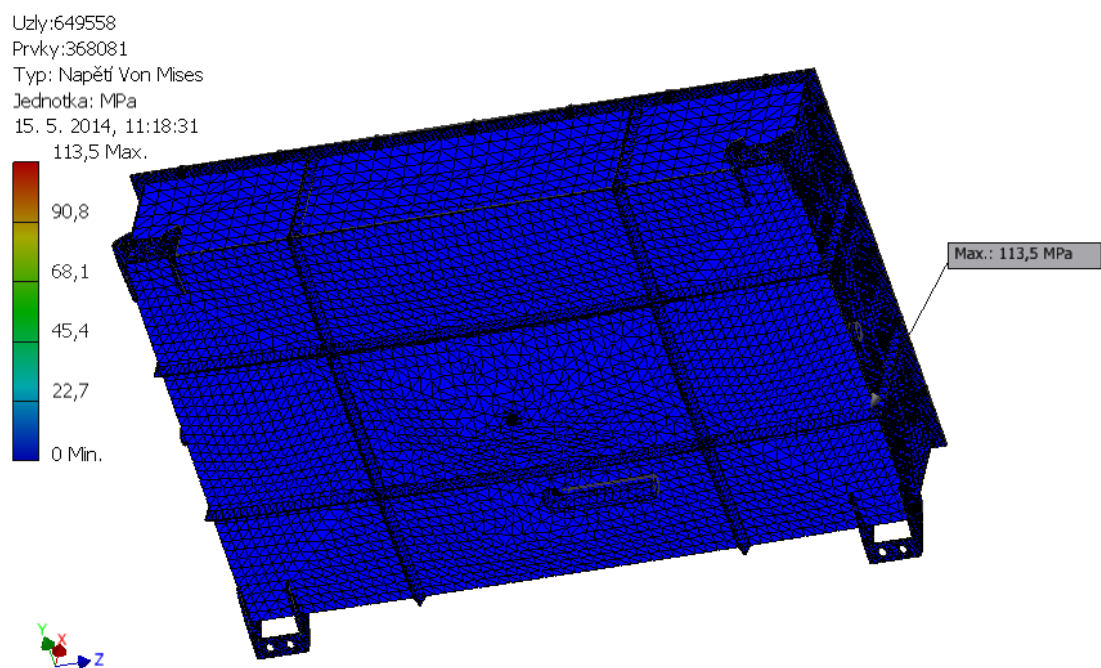
- Napětí Von Mises
- Součinitel bezpečnosti
- Posunutí

3.3.1 Výsledky dna nádrže

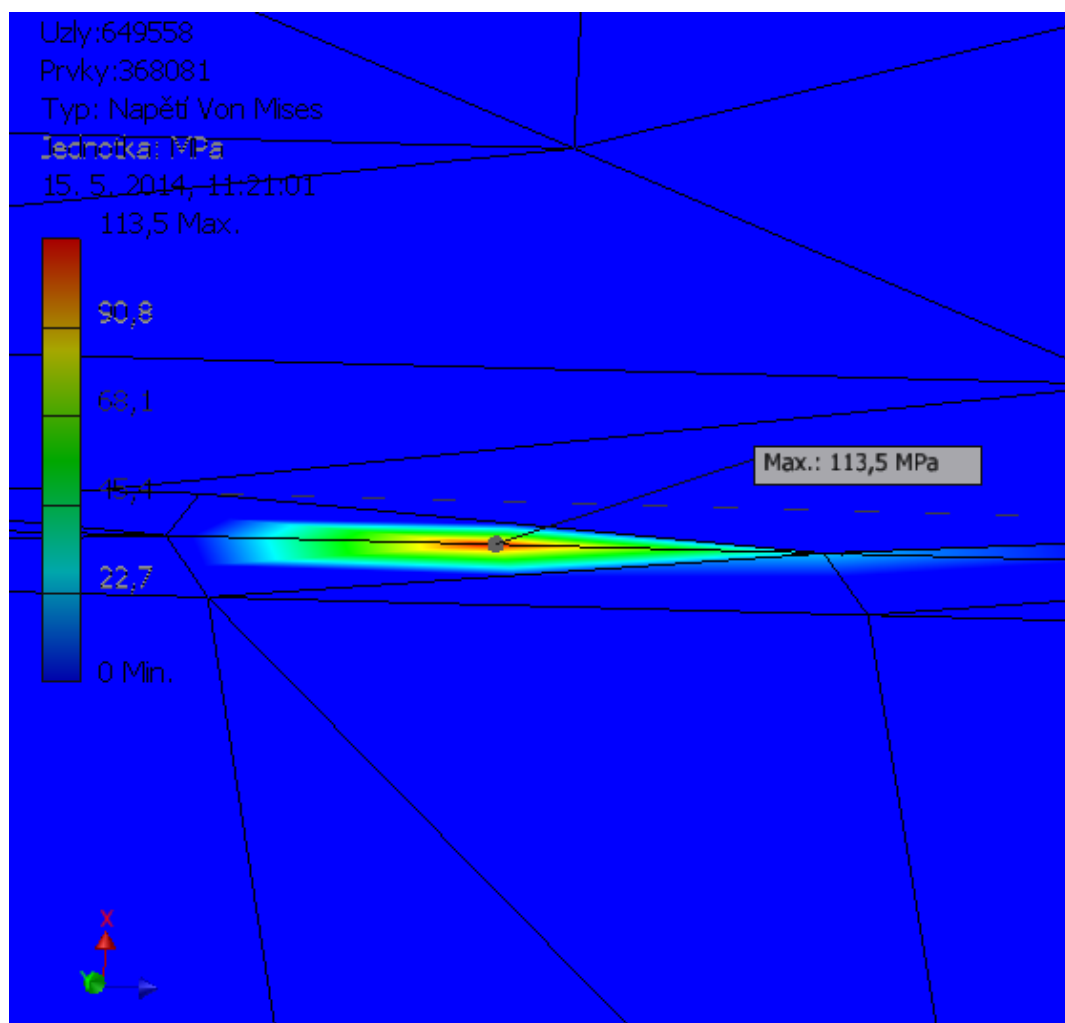
Výsledky jsou přehledně zapsány v tabulce 3.2 a doplněny obrázky.

Tab. 3.2 – Výsledky dna nádrže

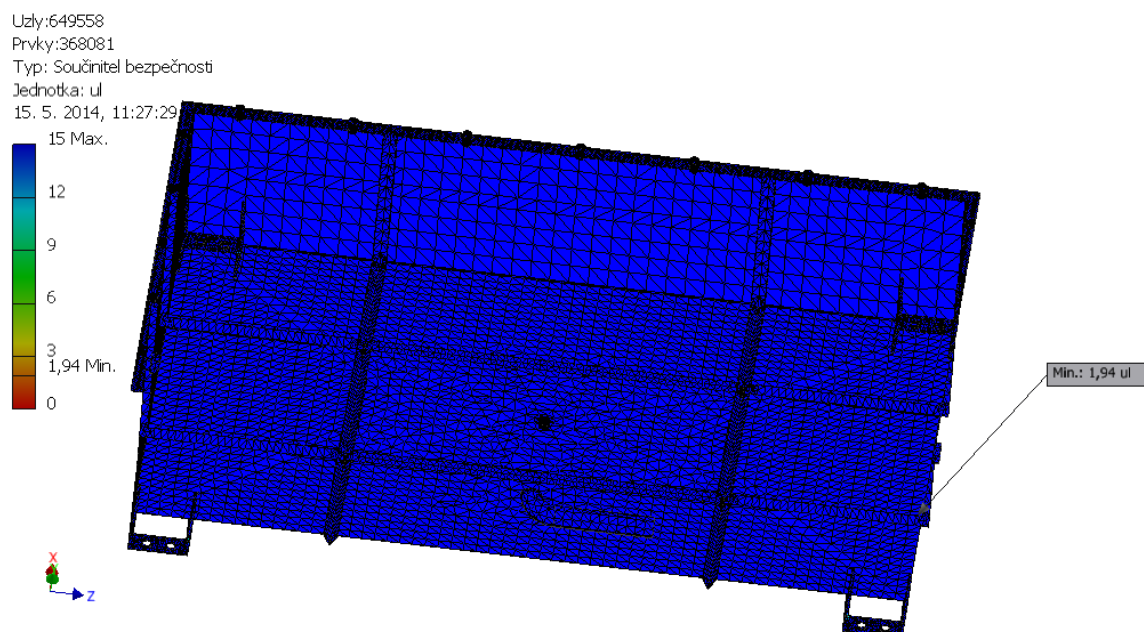
Název	Max. hodnota	Jednotka	Min. hodnota	Jednotka	Obrázek č.	
					celek	detail
Napětí	113,5	MPa	0	MPa	3.9	3.10
Bezpečnost	15	-	1,94	-	3.11	3.12
Posunutí	0,3836	mm	0	mm	3.13	3.14



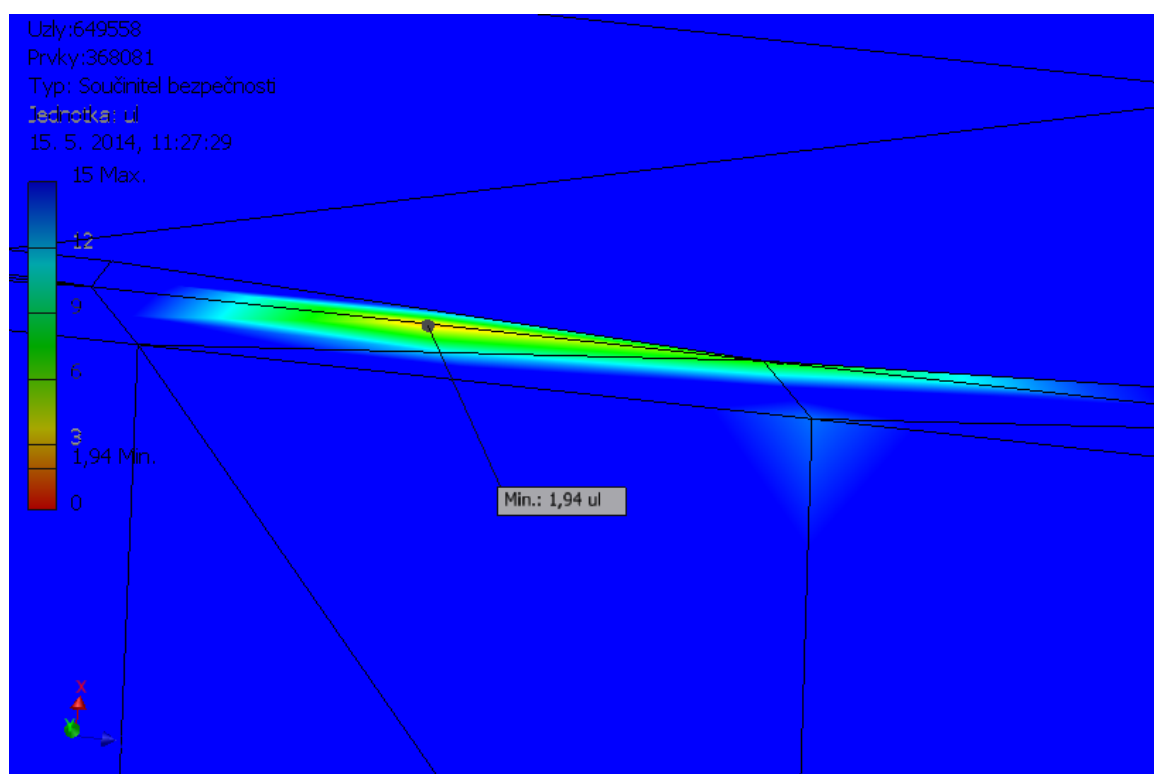
Obr. 3.9 – Napětí Von Mises dna nádrže



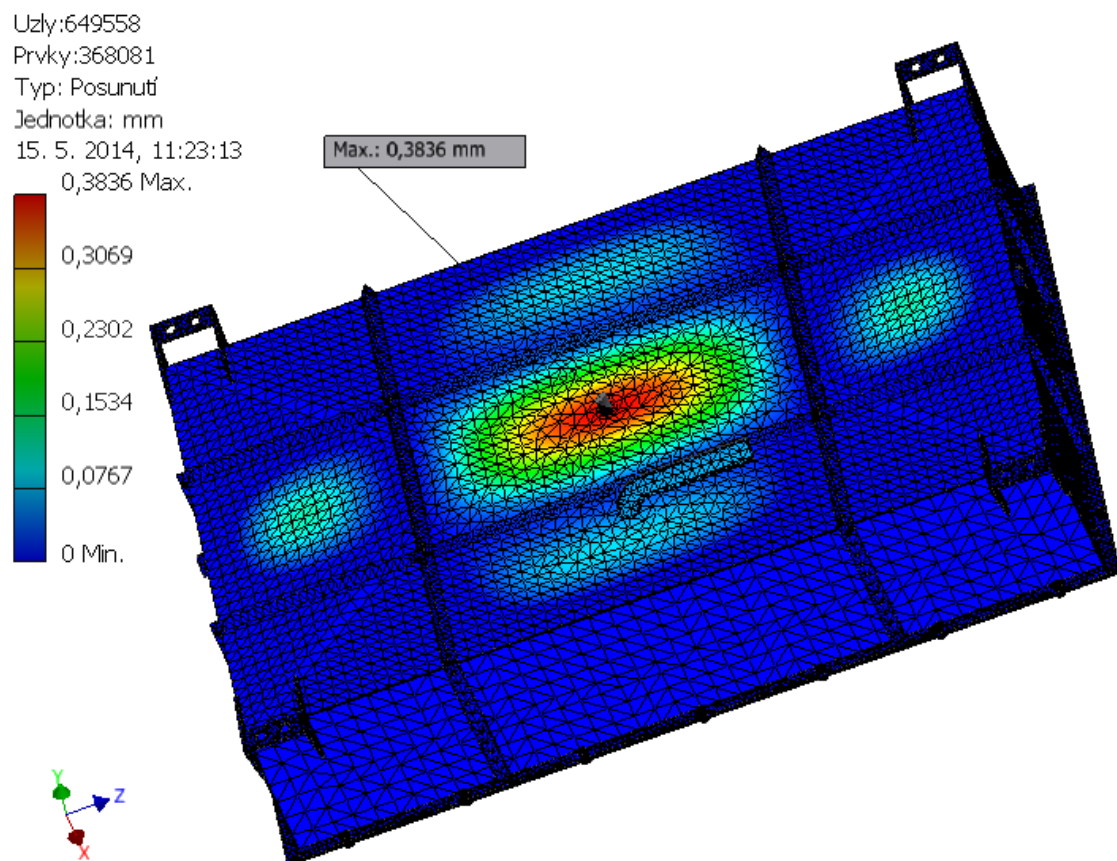
Obr. 3.10 – Detail místa z největším napětím



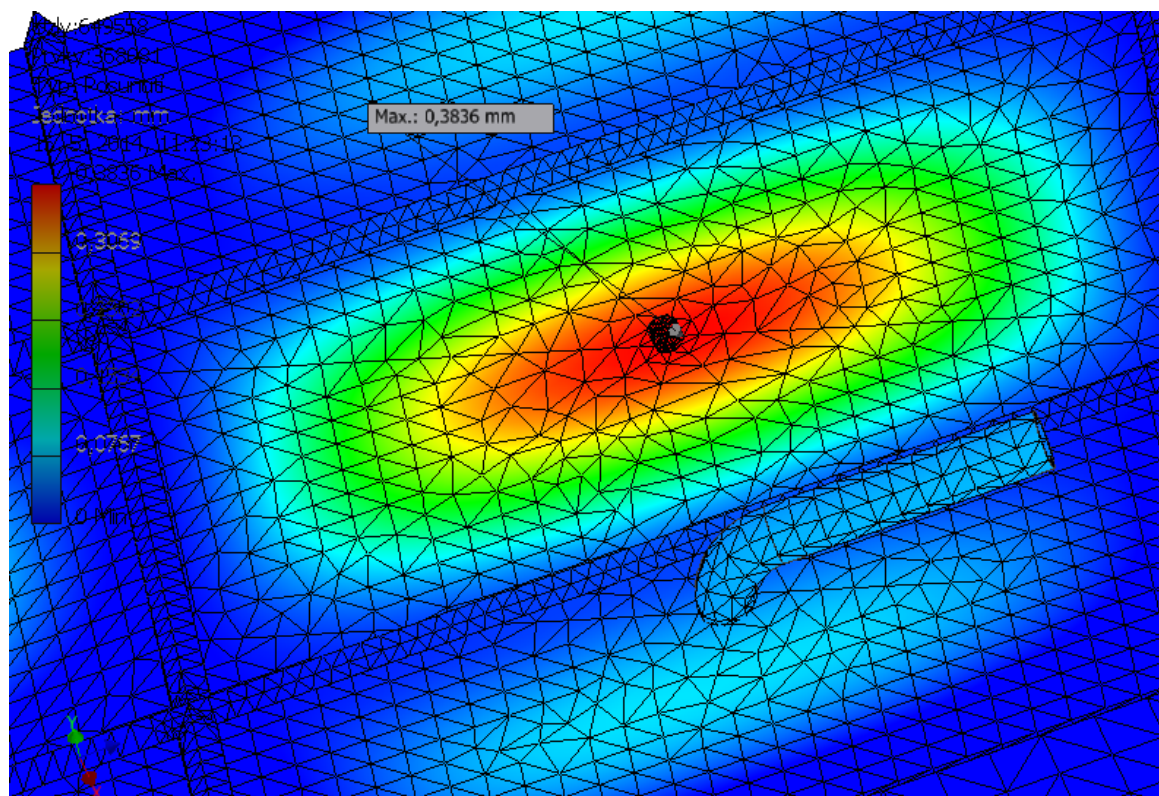
Obr. 3.11 – Součinitel bezpečnosti dna nádrže



Obr. 3.12 – Detail místa s nejmenší bezpečností



Obr. 3.13 – Posunutí dna nádrže



Obr. 3.14 – Detail posunutí

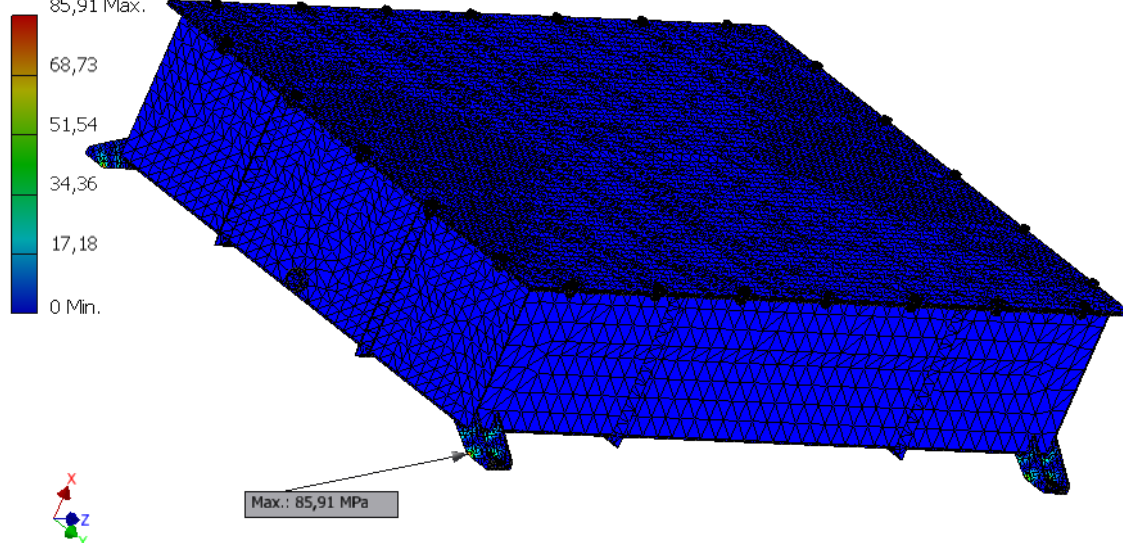
3.3.2 Výsledky boku nádrže

Výsledky jsou přehledně zapsány v tabulce 3.3 a doplněny obrázky.

Tab. 3.3 – Výsledky boku nádrže

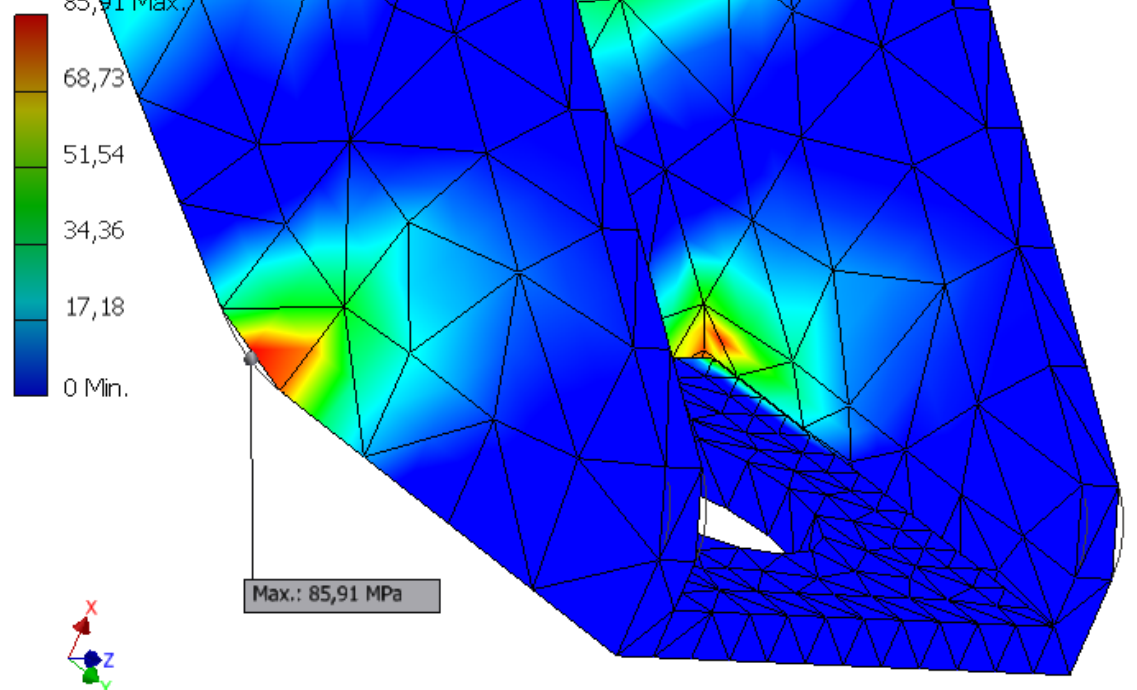
Název	Max. hodnota	Jednotka	Min. hodnota	Jednotka	Obrázek č.	
					celek	detail
Napětí	102,7	MPa	0	MPa	3.15	3.16
Bezpečnost	15	-	2,14	-	3.17	3.18
Posunutí	0,5611	mm	0	mm	3.19	

Uzly:651211
 Prvky:369463
 Typ: Napětí Von Mises
 Jednotka: MPa
 12. 5. 2014, 14:57:08
 85,91 Max.



Obr. 3.15 – Napětí Von Mises boku nádrže

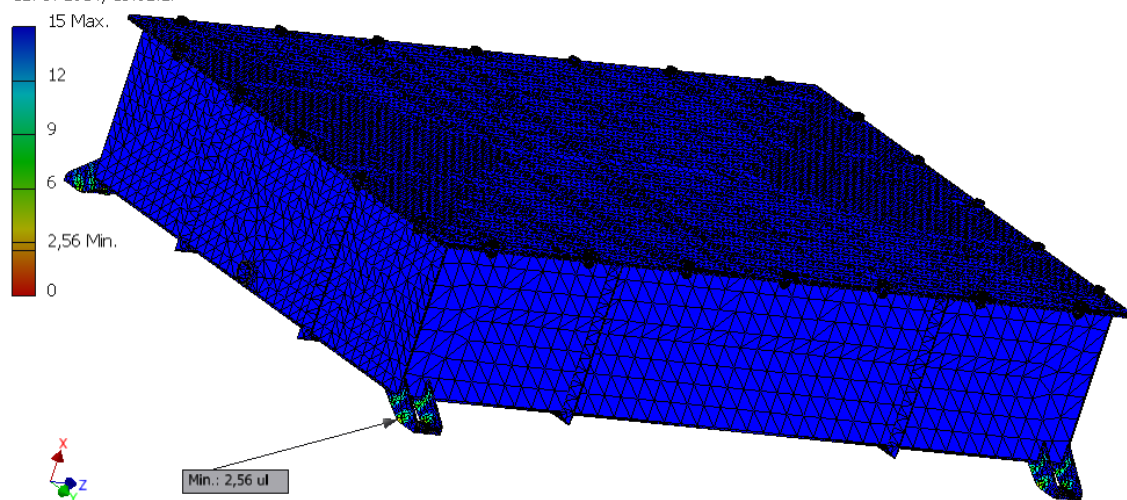
Uzly:651211
 Prvky:369463
 Typ: Napětí Von Mises
 Jednotka: MPa
 12. 5. 2014, 14:57:08
 85,91 Max.



Obr. 3.16 – Detail místa z největším napětím

Uzly:651211
 Prvky:369463
 Typ: Součinitel bezpečnosti
 Jednotka: ul

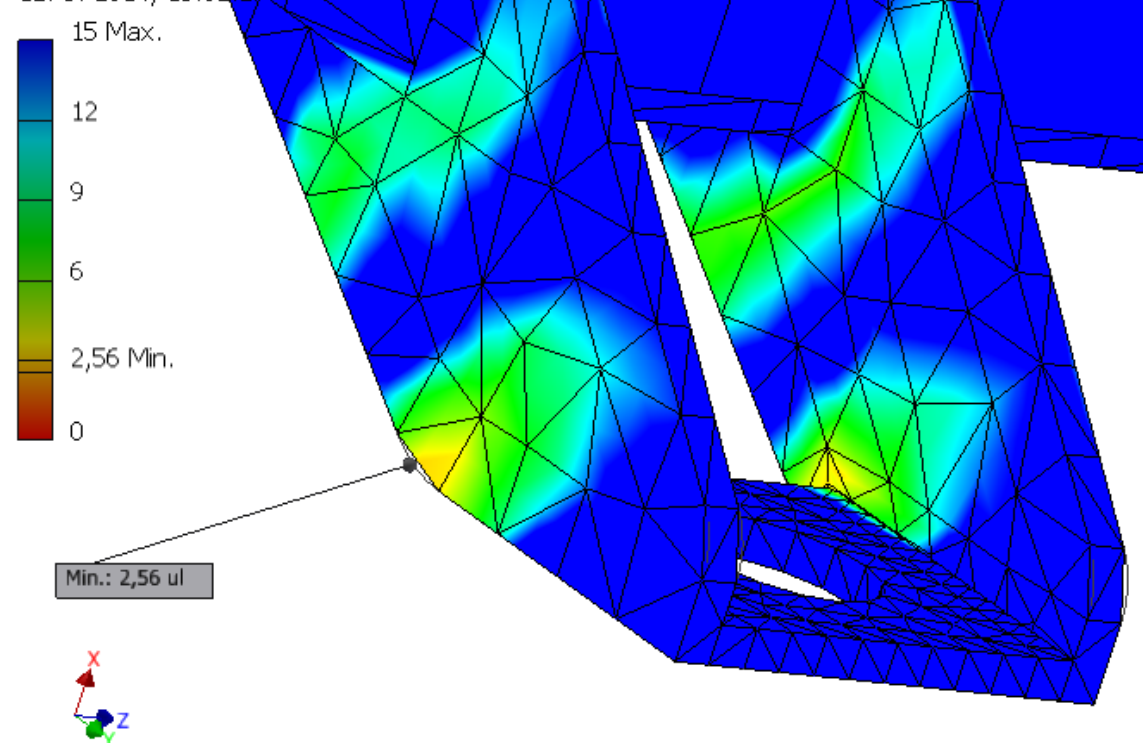
12. 5. 2014, 15:02:27



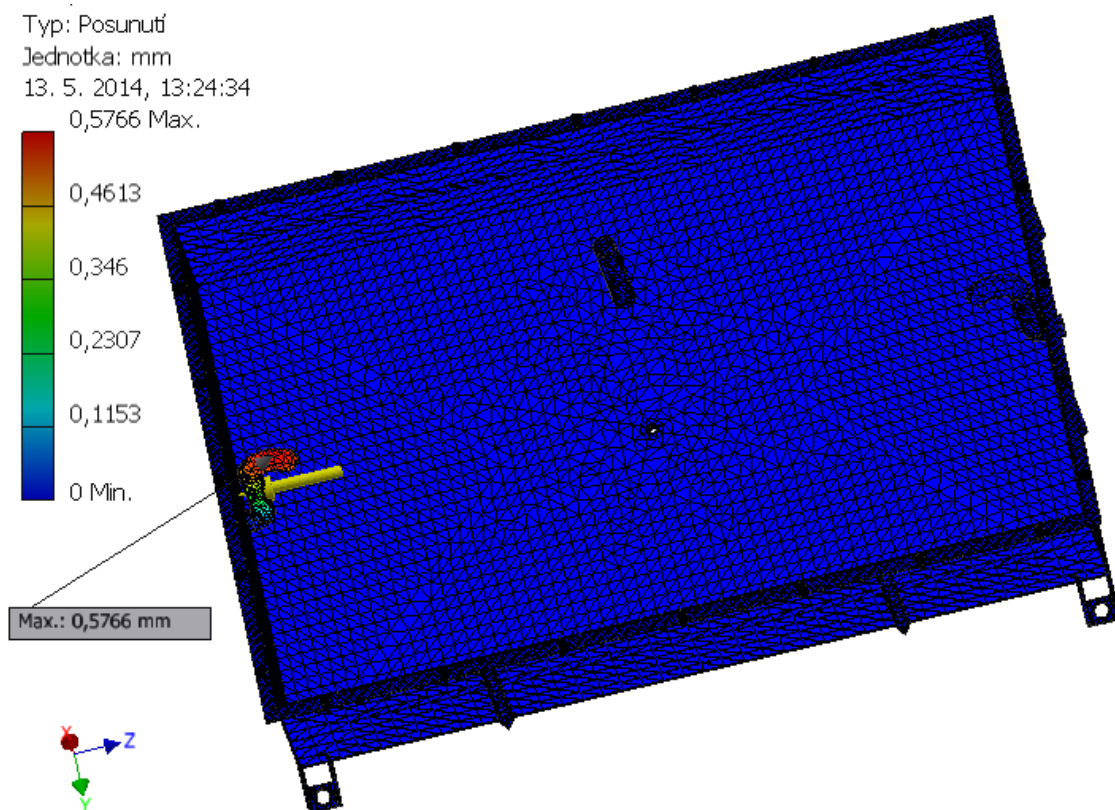
Obr. 3.17 – Součinitel bezpečnosti boku nádrže

Uzly:651211
 Prvky:369463
 Typ: Součinitel bezpečnosti
 Jednotka: ul

12. 5. 2014, 15:02:27



Obr. 3.18 – Detail místa z nejmenší bezpečností



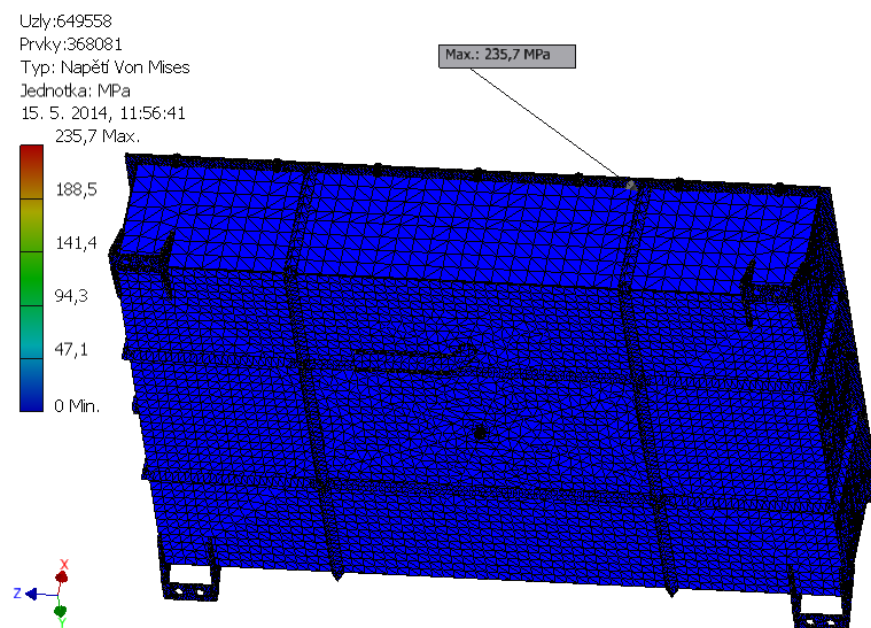
Obr. 3.19 – Maximální posunutí

3.3.3 Výsledky čela nádrže

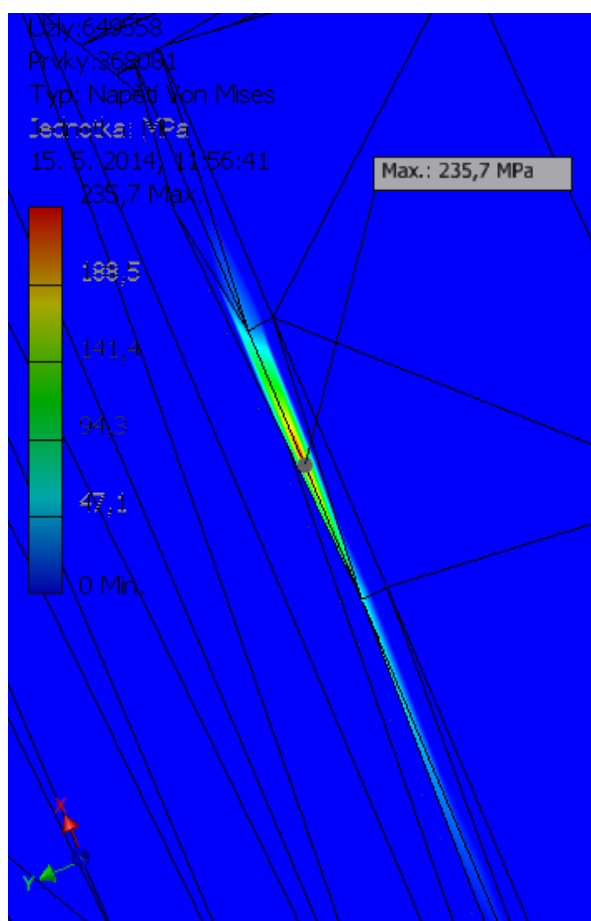
Výsledky jsou přehledně zapsány v tabulce 3.4 a doplněny obrázky.

Tab. 3.4 – Tabulka výsledků čela nádrže

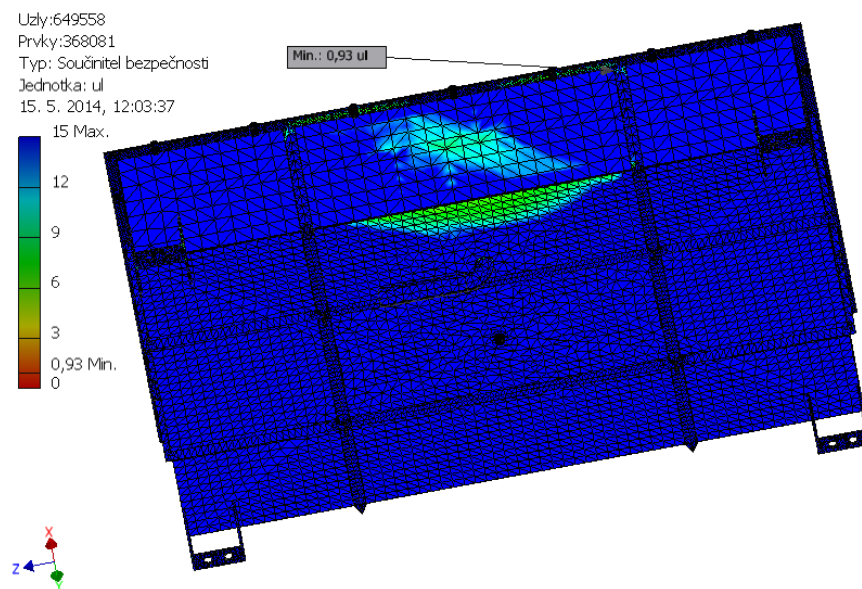
Název	Max. hodnota	Jednotka	Min. hodnota	Jednotka	Obrázek č.	
					celek	detail
Napětí	235,7	MPa	0	MPa	3.20	3.21
Bezpečnost	15	-	0,93	-	3.22	3.23
Posunutí	0,8747	mm	0	mm	3.24	



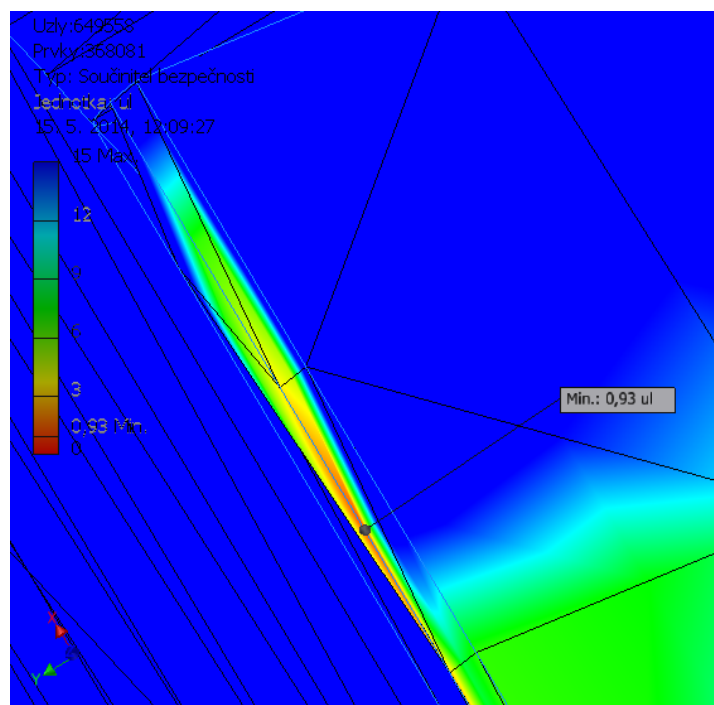
Obr. 3.20 – Napětí Von Mises na čele nádrže



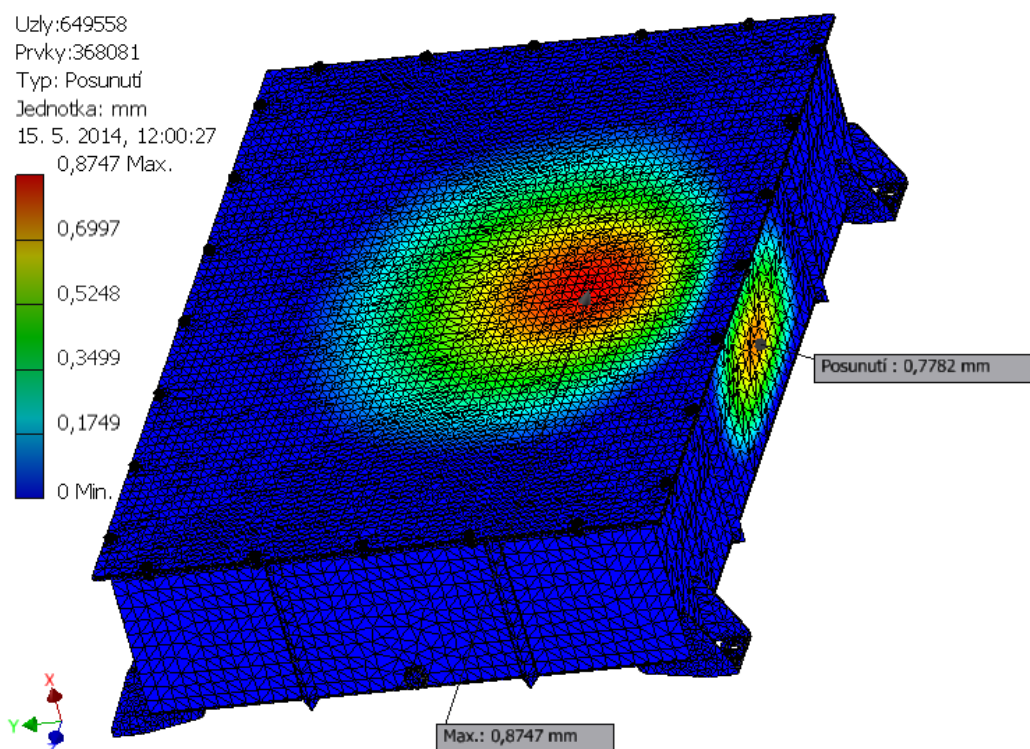
Obr. 3.21 – Detail místa z největším napětím



Obr. 3.22 – Součinitel bezpečnosti čela nádrže



Obr. 3.23 – Detail místa s nejmenší bezpečností



Obr. 3.24 – Posunutí čela a víka nádrže

U výsledků, při zatížení čela nádrže silou F_x , se ukázala jedna zvláštnost. Touto zvláštností je výsledné napětí a v návaznosti na něj potom také bezpečnost. Jak je patrné z výsledků, maximální napětí má hodnotu 235,7 MPa, což je víc jako mez kluzu v tahu nerezové oceli, která má hodnotu 220 MPa. Ale podle detailu na obrázku 3.21 a 3.23 je patrné že se jedná o špičku, která může být vyvolána špatným výpočtem dotyku dvou součástí. Protože se jedná o jediné místo na celém modelu a jde o pětinasobné přetížení dovoluji si tvrdit, že tahle výsledková anomálie neovlivní celkovou pevnost nádrže.

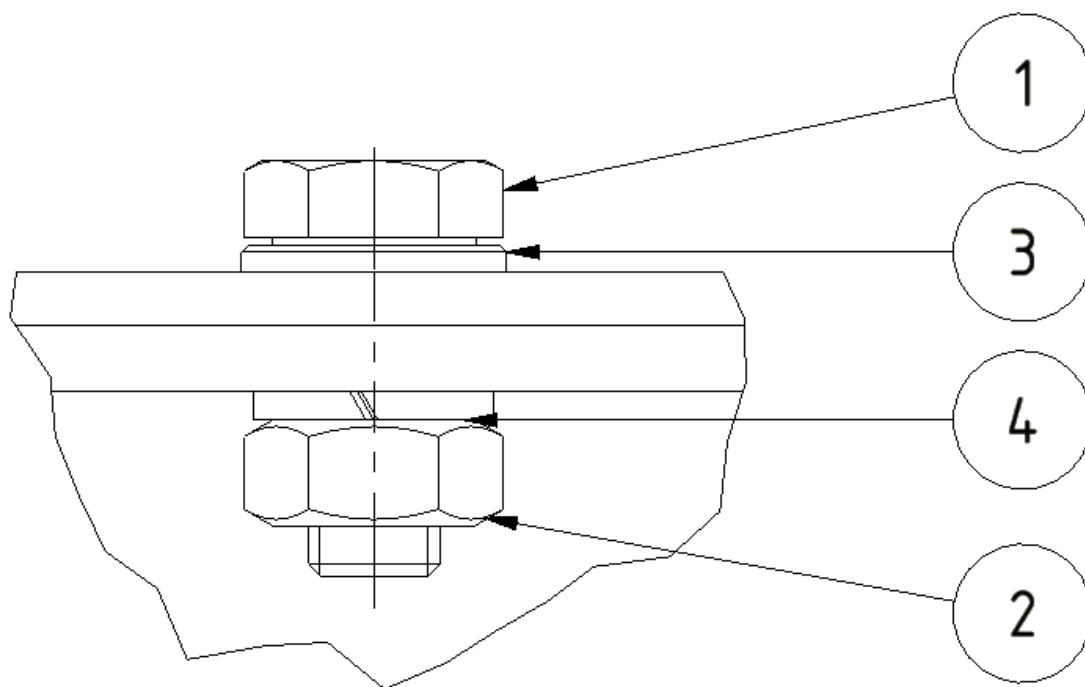
Tím, že bezpečnost se počítá na základě vypočteného napětí k mezi kluzu v tahu daného materiálu, je tedy pochopitelné, že nejmenší bezpečnost vyšla menší jak 1. Tuto anomálii si vysvětlují stejně jako u anomálie při výsledném napětí.

Podle vypočtených hodnot a zhodnocení výsledků je patrné, že nádrž zatížená od maximálního množství vody 400 litrů, podle vyhlášky UIC 566 [4] vyhovuje.

3.4 Kontrola šroubu víka

K upevnění víka k nádrži jsem se rozhodl použít předepjatého šroubového spoje. Šroubový spoj je realizován tak, jak je zobrazeno na obrázku 3.25 pomocí těchto dílů:

- Šroub M10x25 80 DIN 933/A4 (1)
- Matice M10 80 DIN 934/A4 (2)
- Podložka 10.5 DIN 125/A4 (3)
- Podložka 10.2 DIN 127B/A4 (4)



Obr. 3.25 – Šroubový spoj

3.4.1 Materiál šroubového spoje

Jde o spoj realizovaný pomocí nerezových dílů. Třída chemického složení A4 zaručuje tu nejvyšší kvalitu, takže není potřeba vkládat žádné plastové nebo kompozitní vložky. K bimetalické korozi mezi materiálem šroubu a nádrže nebude docházet. Pevnostní třída 80 u této matice šroubu je nejvyšší, které lze speciálním tvářením dosáhnout u oceli označené A4. Mechanické vlastnosti takhle označované oceli jsou zobrazeny v tabulce 3.4 [8].

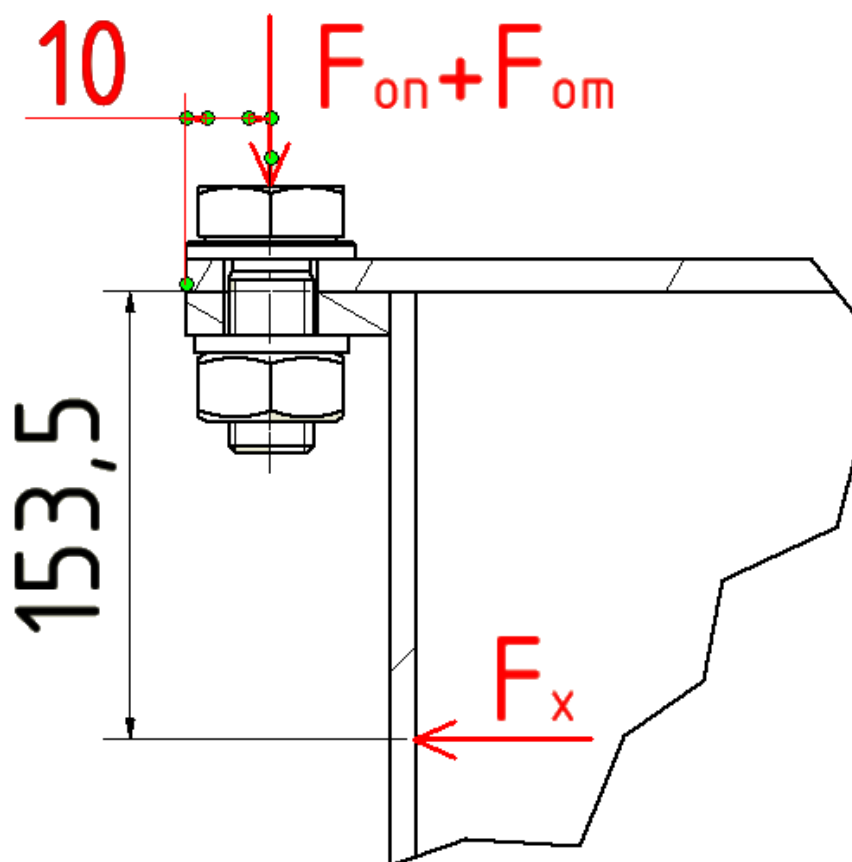
Tab. 3.4 – Mechanické vlastnosti materiálu 80/A4

Název	Zkratka	Hodnota	Jednotka
Mez pevnosti v tahu	R_m	800	MPa
Mez kluzu v tahu	R_e	640	MPa

3.4.2 Výpočet osově síly

Stejně jako při kontrole nádrže se řešil každý směr zatížení zvlášť, tak také budu řešit i kontrolu šroubu. Tentokrát nebudu kontrolovat jeden šroub třikrát, ale zkontroluji ho pouze při působení největšího přetížení, tedy v podélném směru. Pokud šroub vydrží v podélném směru, vydrží i v dalších dvou směrech.

Velikost osově síly vypočítám od zatížení spodní části nádrže silou F_x , která má hodnotu 19 620 N. Poněvadž síla nepůsobí v oblasti spoje, tak celkovou osovou sílu F_{oc} vypočtu jako kombinaci dvou osových sil, jedné která brání posunu součásti F_{on} a druhé která zachycuje vyvolaný moment F_{om} . Rozložení sil je patrné z obrázku 3.26



Obr. 3.26 – Rozložení sil

Výpočet osově síly F_{om}

Hodnoty: $F_x = 19\,620\text{ N}$ $a = 153,5\text{ mm}$ $b = 10\text{ mm}$

$$F_{om} \cdot b = F_x \cdot a \quad (8)$$

$$F_{om} = \frac{F_x \cdot a}{b} = \frac{19\,620 \cdot 153,5}{10} = 301\,167\text{ N} \quad (9)$$

Výpočet osově síly F_{on}

U výpočtu osově síly F_{on} , která brání posunu, volím bezpečnost 1,2 a tím, že mezi víkem a spodkem nádrže bude pryžová těsnicí vložka, volím součinitel tření 0,8 [9].

Hodnoty: $F_x = 19\,620\text{ N}$ $k = 1,2$ $f = 0,8$ [9]

$$F_{on} = \frac{k \cdot F_x}{f} = \frac{1,2 \cdot 19\,620}{0,8} = 29\,430\text{ N} \quad (10)$$

Výpočet celkové osově síly F_{oc}

Hodnoty: $F_{om} = 301\,167\text{ N}$ $F_{on} = 29\,430\text{ N}$

$$F_{oc} = F_{om} + F_{on} = 301\,167 + 29\,430 = 330\,597\text{ N} \quad (11)$$

Výpočet osově síly jednoho šroubu F_o

Vypočetl jsem si celkovou osovou sílu, kterou budu ale přenášet ne jedním šroubem, ale hned 24 kusy.

Hodnoty: $F_{oc} = 330\,597\text{ N}$ $i = 24$

$$F_o = \frac{F_{oc}}{i} = \frac{330\,597}{24} = 13\,774,8\text{ N} \quad (12)$$

3.4.3 Úplná pevnostní kontrola šroubu M10x25 80 DIN 933/A4

Napětí v tlaku

Hodnoty: $F_o = 13\,774,8\text{ N}$ $d_3 = 8,160\text{ mm}$

$$\sigma_t = \frac{F_o}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} = \frac{4 \cdot 13\,774,8}{\pi \cdot 8,160^2} = 263,4\text{ MPa} \quad (13)$$

Napětí v krutu

Hodnoty: $F_o = 13\,774,8\text{ N}$ $d_2 = 9,026\text{ mm}$ $d_3 = 8,160\text{ mm}$
 $P_h = 1,5\text{ mm}$ $f_z = 0,19$ $\beta = 60^\circ$

$$\psi = \tan^{-1} \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} = \tan^{-1} \frac{1,5}{\pi \cdot 9,026} = 3,028^\circ \quad (14)$$

$$\varphi' = \tan^{-1} \frac{f_z}{\cos \frac{\beta}{2}} = \tan^{-1} \frac{0,19}{\cos \frac{60}{2}} = 12,325^\circ \quad (15)$$

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} = \frac{8 \cdot F_o \cdot \tan(\psi + \varphi') \cdot d_2}{\pi \cdot d_3^3} = \frac{8 \cdot 13\,774,8 \cdot \tan(3,028 + 12,325) \cdot 9,026}{\pi \cdot 8,160^3} = 160\text{ MPa} \quad (16)$$

Výpočet redukovaného napětí a porovnání s dovoleným napětím

Redukované napětí vypočtu podle Guestovi metody.

Hodnoty: $\sigma_t = 263,4\text{ MPa}$ $\tau = 160\text{ MPa}$ $R_e = 640\text{ MPa}$ [8] $k_s = 1,5$

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{263,4^2 + 4 \cdot 160^2} = 414,5\text{ MPa} \quad (17)$$

$$\sigma_{RED} \leq \frac{R_e}{k_s} = \frac{640}{1,5} \quad (18)$$

$$414,5 \leq 426,7 \quad (19)$$

Podle výsledku rovnice (19) šroub M10x25 80 DIN 933/A4 vyhovuje a vydrží předepsané přetížení.

3.4.4 Stanovení utahovacího momentu

Pro vytvoření požadovaného přepětí je potřeba, aby byl šroubový spoj utažen požadovaným utahovacím momentem. Vypočtený poté porovnáme s maximálním dovoleným utahovacím momentem.

$$\text{Hodnoty: } F_o = 13\,774,8 \text{ N} \quad \psi = 3,028^\circ \quad \varphi' = 12,325^\circ \quad d_2 = 9,026 \text{ mm}$$

$$f = 0,19 [7] \quad s_k = 16 \text{ mm} \quad d_o = 10,2 \text{ mm} \quad M_{u \max} = 46,38 \text{ Nm}$$

$$D_s = \frac{s_k + d_o}{2} = \frac{16 + 10,2}{2} = 13,1 \text{ mm} \quad (20)$$

$$M_u = F_o \cdot \tan(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} + F_o \cdot f \cdot \frac{D_s}{2} = 13\,774,8 \cdot \tan(3,028 + 12,325) \cdot \frac{9,026}{2} + 13\,774,8 \cdot 0,19 \cdot \frac{13,1}{2} = 34\,211 \text{ Nmm} = 34,21 \text{ Nm} \quad (21)$$

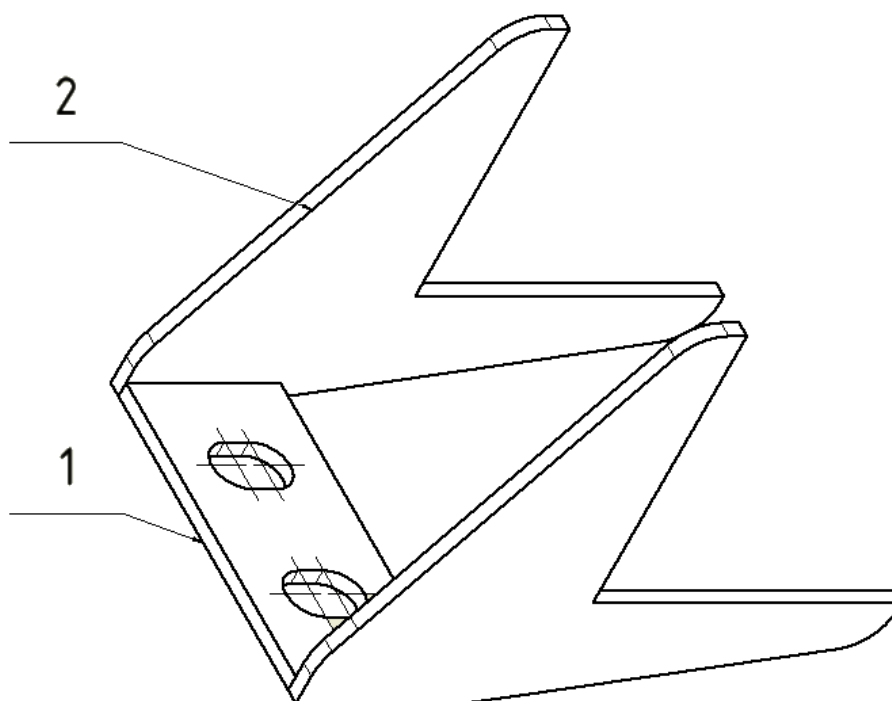
$$M_{u \max} \geq M_u \quad (22)$$

$$46,38 \text{ Nm} \geq 34,21 \text{ Nm} \quad (23)$$

Podle výsledku rovnice (23) je možné utáhnout šroub vypočteným momentem 34,21 Nm.

3.5 Upevnění nádrže

Upevnění nádrže je realizováno prostřednictvím čtyř patek, které jsou vidět na obrázku 3.27. Patky jsou tvořeny dvěma boky (2) a jednou dosedací částí (1), která má dva oválné otvory v podélném směru tak, aby vyrovnával toleranci hrubé stavby určenou normou ČSN EN ISO 13 920 [2].



Obr. 3.27 – Patka nádrže

3.5.1 Materiál upevňovací patky

Materiál této patky volím stejný jako materiál nádrže a to ocel 1.4571. Síla plechu, ze kterého budou části vytvořeny, je 5 mm.

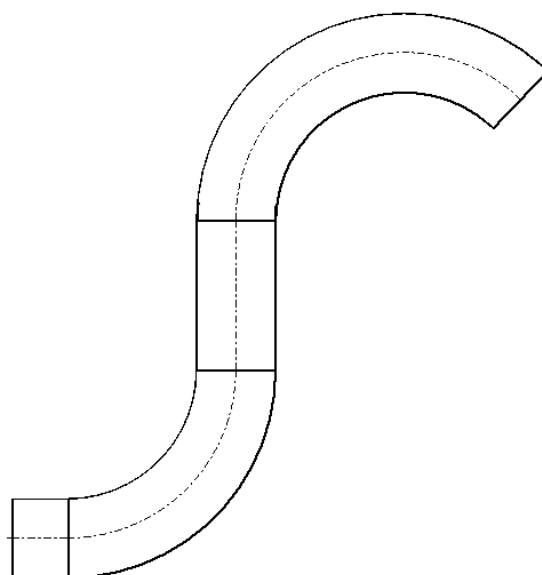
3.5.2 Pevnostní kontrola patky

Pevnostní kontrola patky byla provedena metodou MKP v programu Inventor 2014 už v kapitole 3.2 a 3.3 při pevnostní kontrole nádrže.

3.6 Příslušenství nádrže

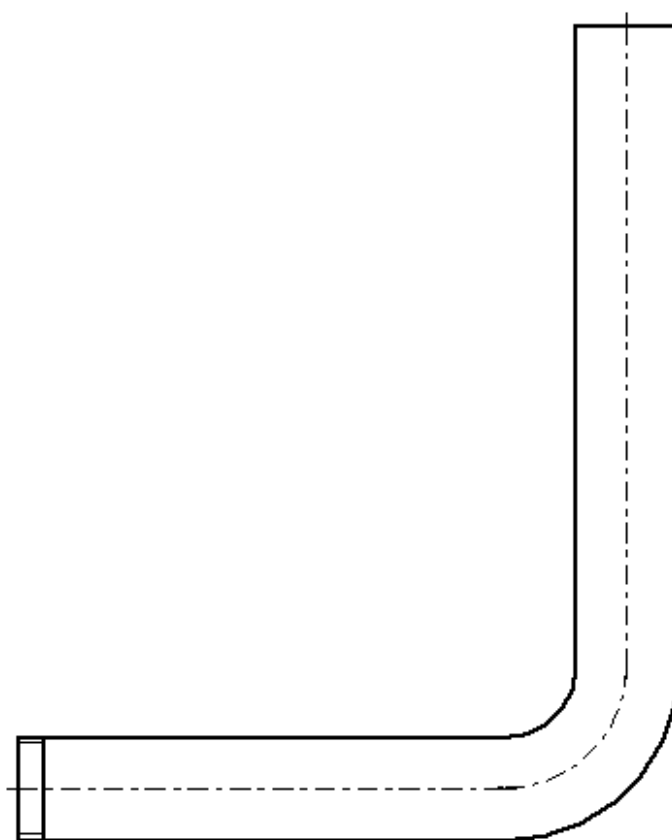
3.6.1 Vstupy a výstupy

Nádrž se naplňuje vždy jedním ze dvou napouštěcích otvorů. Napouštěcí přívody jsou dva, z důvodu aby šlo napouštět vodu, ať už stojí souprava jakoukoliv stranou k nástupišti. Jedná se o trubku o průměru 42,4 mm a tloušťce stěny 3,2 mm. Materiál je nerezavějící ocel 1.4571. Trubka musí být tvarovaná tak, aby nedocházelo k odtoku vody při pohybu vlaku. Mnou zvolený tvar je vidět na obrázku 3.28.



Obr. 3.28 – Vpust do nádrže

Přepad, který slouží k odvodu přebytečného vzduchu a brání úplnému naplnění nádrže při poruše plnění, je také vyroben z trubky o průměru 42,4 mm a tloušťce stěny 3,2 mm, materiál trubky je také ocel 1.4571. Jeho tvar je na obrázku 3.29.



Obr. 3.29 – Tvar přepadu

Výpusť z nádrže k sociálnímu zařízení je realizovaná trubicí o průměru 21,3 mm a tloušťce stěny 2,6 z materiálu 1.4571.

Všechny tři části, jsou na svém konci, který je mimo nádrž opatřen trubkovým závitem, tak aby mohlo dojít k napojení dalších částí potrubí. U trubek o průměru 42,4 jde o závit G 5/4". U průměru 21,3 jde o závit G 1/2".

3.6.2 Měření výšky hladiny

Měřit výšku hladiny můžeme buďto kontinuálně nebo limitně. Měření můžeme provádět pomocí následujících principů:

- Limitní měření hladiny
 - Plovákové spínače
 - Kapacitní spínače
 - Vibrační spínače
 - Rotační spínače
 - Vodivostní spínače
 - Ultrazvukové spínače
- Kontinuální měření hladiny
 - Ponorné sondy
 - Ultrazvukové snímače
 - Radarové snímače
 - Stavoznak
 - Plovákové snímače
 - Kapacitní snímače

Pro měření hladiny v mnou navržené nádrži jsem se rozhodl použít kontinuálního měření hladiny, za použití plovákového snímače TMR TC INOX od firmy MERECOM[10]. Jedná se měřidlo z nerezové oceli SS AISI 316 s odporovým výstupem. Měřicí krok je 5 mm. Vzhled měřáku je patrný z obrázku 3.30. Připojení měřidla je pomocí závitu G 2". Délka vodící tyče je 307 mm.



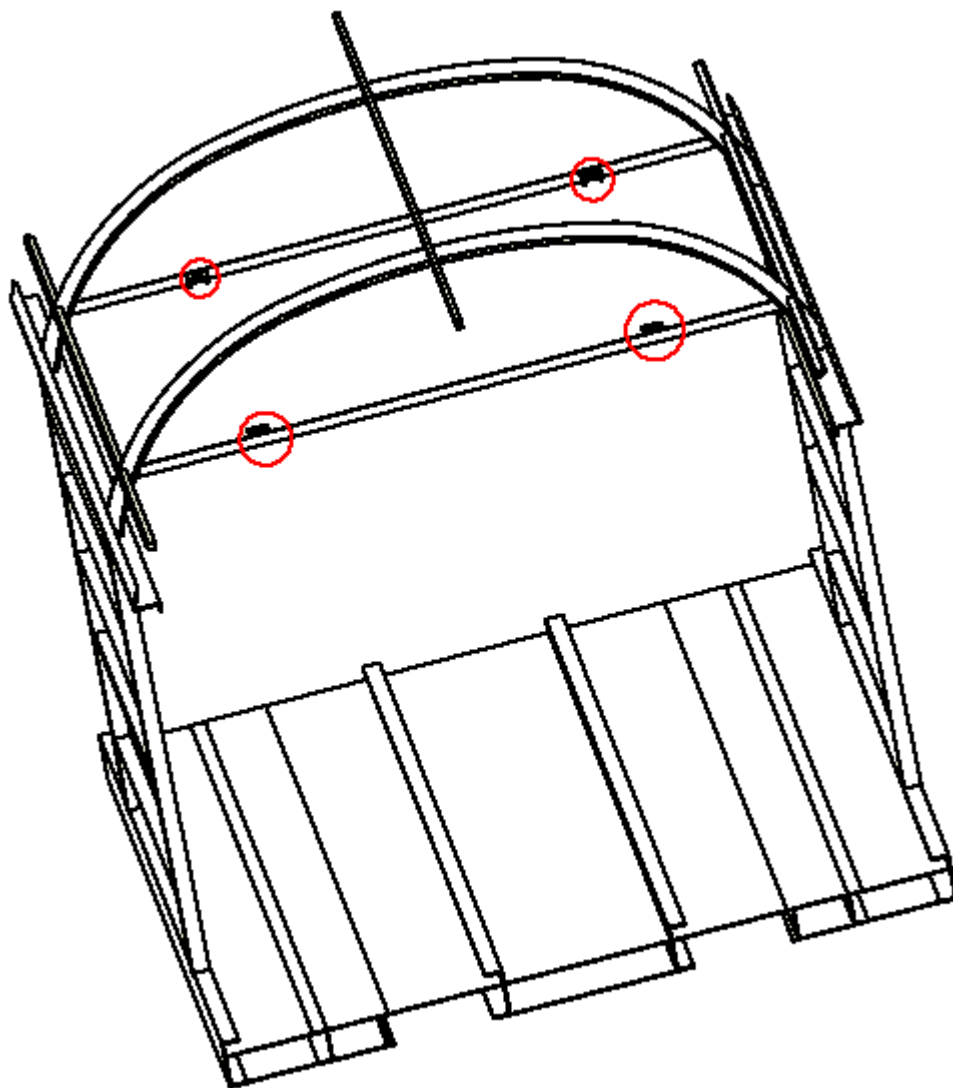
Obr. 3.30 – Plovákový snímač TMR TC INOX

4 Hrubá stavba vozu

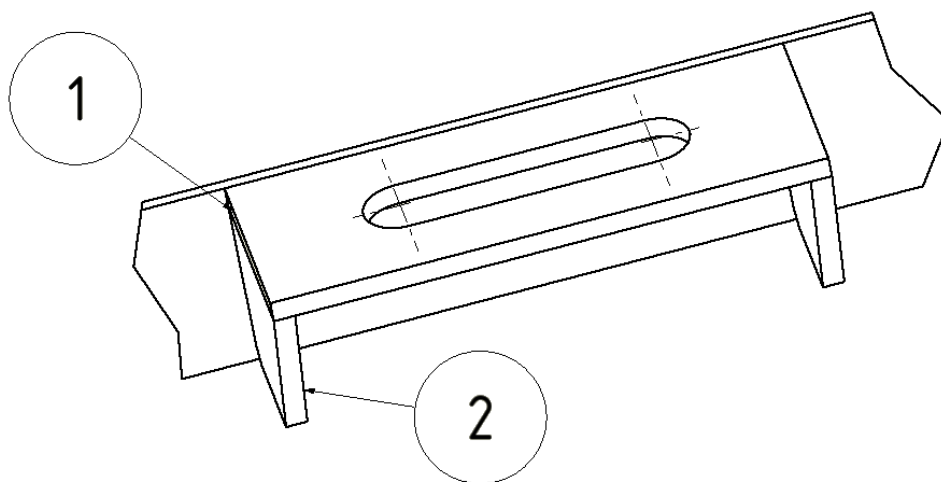
Jak vypadá část hrubé stavby vozu, ve které bude umístěno sociální zařízení, tedy i má nádrž bylo vidět na obrázku 2.1 a bude vidět i na obrázku 4.1. Zabývat se vlivem nádrže na hrubou stavbu vozu není předmětem mé diplomové práce a ani v praxi tyto úkoly neřeší společná pracoviště. I přesto je mým úkolem navrhnout úpravu rámu tak, aby šla nádrž s rámem spojit, a provést kontrolu těchto částí.

4.1 Úpravu hrubé stavby vozu

Na obrázku 4.1 jsou znázorněny 4 místa, kde jsem se rozhodl přivařit patky, na které dosedne nádrž. Detail tohoto místa je vidět na obrázku 4.2.



Obr. 4.1 – Hrubá stavba vozu



Obr. 4.2 – Detail dosedací patky

4.2 Patka hrubé stavby

Patka hrubé stavby, jak je vidět na obrázku 4.2, je tvořená dosedací plochou s oválným otvorem (1), pro vyrovnání tolerance hrubé stavby dané normou DIN 25 043 [1]. Tato část je podepřena dvěma stojkami (2).

4.2.1 Materiál patky hrubé stavby

Materiál patky je konstrukční ocel shodná s materiálem hrubé stavby. Jde o ocel 1.0577. Mechanické vlastnosti oceli jsou zapsány v tabulce 4.1 [11].

Tab. 4.1 – Mechanické vlastnosti materiálu 1.0577

Název	Zkratka	Hodnota	Jednotka
Mez pevnosti v tahu	R_m	470	MPa
Mez kluzu v tahu	R_e	245	MPa

4.2.2 Metoda výroby patky

Patka bude svařena a poté přivařena k hrubé stavbě. Při svařování bude použita metoda ručního obloukového svařování a elektroda OK 48.00 od firmy ESAB [12].

4.3 Pevnostní kontrola patky hrubé stavby

Pevnostní kontrola byla provedena za pomoci MKP v programu Inventor 2014. Během výpočtu bude nádrž i s maximální hmotností vody nahrazena jedním hmotným bodem ve společném těžišti. U vody je v každém směru přetížení poloha těžiště jiná, takže působíště v každém směru je jiné. Z tohoto důvodu je vždy jedna ze čtyř patek více zatížena, a tak jsem v programu zatížil všechny čtyři patky naráz jednou vzdálenou silou.

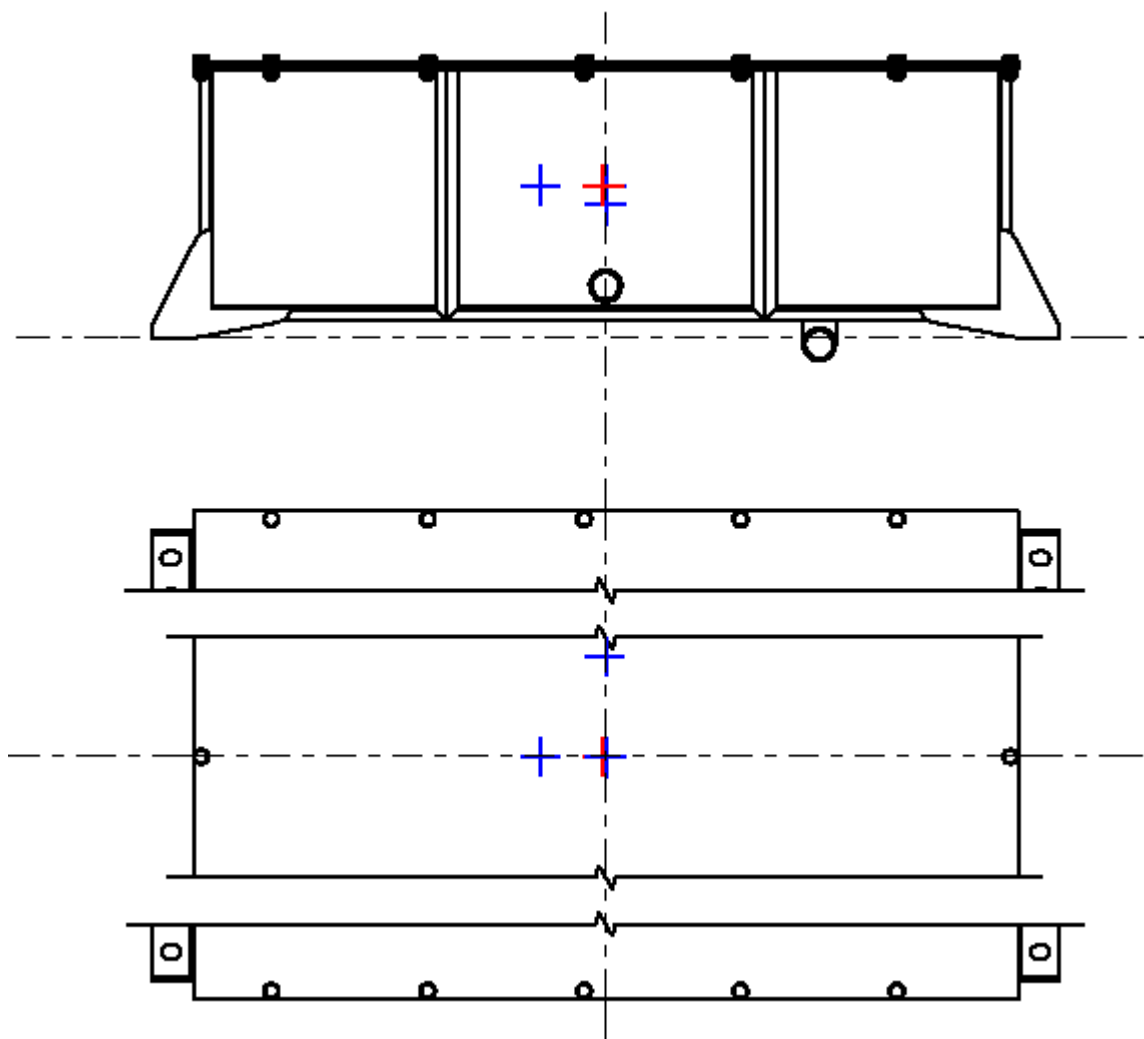
Hmotnost vody jsem stanovil ve výpočtu (4) v kapitole 3.2.2. Hmotnost nádrže byla odečtena v programu Inventor 2014 a má velikost 161,876 kg.

4.3.1 Výpočet společného těžiště

Poloha těžiště nádrže byla odečtena z programu Inventor 2014.

Poloha těžiště vody je závislá od směru přetížení, kdy celý objem vody je natlačen na stěnu příslušnou danému směru. Polohu těžiště jsem dopočítal. Při výpočtu vycházím z maximálního objemu vody a vnitřních rozměrů nádrže. Dno má rozměry 1000x1560 mm, čelo nádrže má rozměr 1560x307 mm a bok nádrže má rozměr 1000x307 mm.

Všechny souřadnice se vztahují k nulovému bodu, který je znázorněn na obrázku 4.3. V tomto obrázku jsou zobrazeny i polohy jednotlivých těžišť. Modrou těžiště vody a červenou těžiště nádrže.



Obr. 4.3 – Těžiště vody a nádrže

Výpočet těžiště vody v podélném směru

Hodnoty: $V=400 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ $a=307 \text{ mm}$ $b=1560 \text{ mm}$ $c=1000 \text{ mm}$
 $z=41,5 \text{ mm}$

$$c_x = \frac{V}{a \cdot b} = \frac{400 \cdot 10^6}{307 \cdot 1560} = 835,2 \text{ mm} \quad (24)$$

$$z_{Tx} = \frac{a}{2} + z = \frac{307}{2} + 41,5 = 195 \text{ mm} \quad (25)$$

$$y_{Tx} = \frac{b}{2} - \frac{b}{2} = \frac{1560}{2} - \frac{1560}{2} = 0 \text{ mm} \quad (26)$$

$$x_{Tx} = \frac{c_x}{2} - \frac{c}{2} = \frac{835,2}{2} - \frac{1000}{2} = -82,4 \text{ mm} \quad (27)$$

Výpočet těžiště vody v příčném směru

Hodnoty: $V=400 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ $a=307 \text{ mm}$ $b=1560 \text{ mm}$ $c=1000 \text{ mm}$
 $z=41,5 \text{ mm}$

$$b_y = \frac{V}{a \cdot c} = \frac{400 \cdot 10^6}{307 \cdot 1000} = 1302,9 \text{ mm} \quad (28)$$

$$z_{Ty} = \frac{a}{2} + z = \frac{307}{2} + 41,5 = 195 \text{ mm} \quad (29)$$

$$y_{Ty} = \frac{b_y}{2} - \frac{b}{2} = \frac{1302,9}{2} - \frac{1560}{2} = 129 \text{ mm} \quad (30)$$

$$x_{Ty} = \frac{c}{2} - \frac{c}{2} = \frac{1000}{2} - \frac{1000}{2} = 0 \text{ mm} \quad (31)$$

Výpočet těžiště vody ve vertikálním směru

Hodnoty: $V=400 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ $a=307 \text{ mm}$ $b=1560 \text{ mm}$ $c=1000 \text{ mm}$
 $z=41,5 \text{ mm}$

$$z_z = \frac{V}{b \cdot c} = \frac{400 \cdot 10^6}{1560 \cdot 1000} = 256,4 \text{ mm} \quad (32)$$

$$z_{Tz} = \frac{z_z}{2} + z = \frac{256,4}{2} + 41,5 = 169,7 \text{ mm} \quad (33)$$

$$y_{Tz} = \frac{b}{2} - \frac{b}{2} = \frac{1560}{2} - \frac{1560}{2} = 0 \text{ mm} \quad (34)$$

$$x_{Tz} = \frac{c}{2} - \frac{c}{2} = \frac{1000}{2} - \frac{1000}{2} = 0 \text{ mm} \quad (35)$$

Těžiště nádrže

$$z_{Tn} = 195,101 \text{ mm}$$

$$y_{Tn} = -0,589 \text{ mm}$$

$$x_{Tn} = -2,66 \text{ mm}$$

Společné těžiště v podélném směru

Hodnoty: $m_n=161,876 \text{ kg}$ $z_{Tn}=195,101 \text{ mm}$ $y_{Tn}=-0,589 \text{ mm}$

$x_{Tn}=-2,66 \text{ mm}$ $m_v=400 \text{ kg}$ $z_{Tx}=195 \text{ mm}$ $y_{Tx}=0 \text{ mm}$ $x_{Tx}=-82,4 \text{ mm}$

$$z_{Tcx} = \frac{m_n \cdot z_{Tn} + m_v \cdot z_{Tx}}{m_n + m_v} = \frac{161,876 \cdot 195,101 + 400 \cdot 195}{161,876 + 400} = 195,03 \text{ mm} \quad (36)$$

$$y_{Tcx} = \frac{m_n \cdot y_{Tn} + m_v \cdot y_{Tx}}{m_n + m_v} = \frac{161,876 \cdot (-0,589) + 400 \cdot 0}{161,876 + 400} = -0,17 \text{ mm} \quad (37)$$

$$x_{Tcx} = \frac{m_n \cdot x_{Tn} + m_v \cdot x_{Tx}}{m_n + m_v} = \frac{161,876 \cdot (-2,66) + 400 \cdot (-82,4)}{161,876 + 400} = -59,4 \text{ mm} \quad (38)$$

Společné těžiště v příčném směru

Hodnoty: $m_n=161,876 \text{ kg}$ $z_{Tn}=195,101 \text{ mm}$ $y_{Tn}=-0,589 \text{ mm}$

$x_{Tn}=-2,66 \text{ mm}$ $m_v=400 \text{ kg}$ $z_{Ty}=195 \text{ mm}$ $y_{Ty}=-129 \text{ mm}$ $x_{Ty}=0 \text{ mm}$

$$z_{Tcy} = \frac{m_n \cdot z_{Tn} + m_v \cdot z_{Ty}}{m_n + m_v} = \frac{161,876 \cdot 195,101 + 400 \cdot 195}{161,876 + 400} = 195,03 \text{ mm} \quad (39)$$

$$y_{Tcy} = \frac{m_n \cdot y_{Tn} + m_v \cdot y_{Ty}}{m_n + m_v} = \frac{161,876 \cdot (-0,589) + 400 \cdot (-129)}{161,876 + 400} = -92 \text{ mm} \quad (40)$$

$$x_{Tcy} = \frac{m_n \cdot x_{Tn} + m_v \cdot x_{Ty}}{m_n + m_v} = \frac{161,876 \cdot (-2,66) + 400 \cdot 0}{161,876 + 400} = -0,766 \text{ mm} \quad (41)$$

Společné těžiště ve vertikálním směru

Hodnoty: $m_n=161,876 \text{ kg}$ $z_{Tn}=195,101 \text{ mm}$ $y_{Tn}=-0,589 \text{ mm}$

$x_{Tn}=-2,66 \text{ mm}$ $m_v=400 \text{ kg}$ $z_{Tz}=169,7 \text{ mm}$ $y_{Tz}=0 \text{ mm}$ $x_{Tz}=0 \text{ mm}$

$$z_{Tcz} = \frac{m_n \cdot z_{Tn} + m_v \cdot z_{Tz}}{m_n + m_v} = \frac{161,876 \cdot 195,101 + 400 \cdot 169,7}{161,876 + 400} = 177,02 \text{ mm} \quad (42)$$

$$y_{Tcz} = \frac{m_n \cdot y_{Tn} + m_v \cdot y_{Tz}}{m_n + m_v} = \frac{161,876 \cdot (-0,589) + 400 \cdot 0}{161,876 + 400} = -0,17 \text{ mm} \quad (43)$$

$$x_{Tcz} = \frac{m_n \cdot x_{Tn} + m_v \cdot x_{Tz}}{m_n + m_v} = \frac{161,876 \cdot (-2,66) + 400 \cdot 0}{161,876 + 400} = -0,766 \text{ mm} \quad (44)$$

4.3.2 Výpočet zatěžující síly

Patky jsou zatíženy nejen od hmotnosti vody, ale taky od hmotnosti nádrže. Při výpočtu jsem počítal i s přetížením, které stanovuje vyhláška UIC 566 [4]. Kontrola patky je provedena ve všech třech směrech.

Hodnoty: $m_n=161,876 \text{ kg}$ $m_v=400 \text{ kg}$

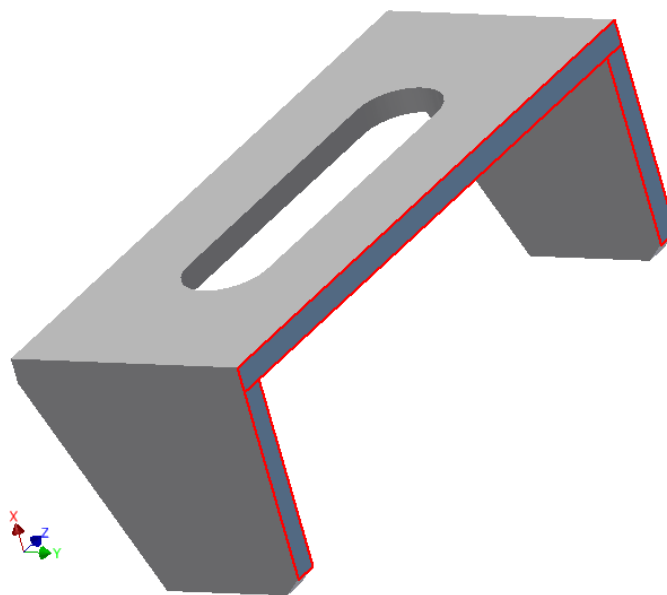
$$F_{x_{nv}} = (m_v + m_n) \cdot 5 \cdot g = (161,876 + 400) \cdot 5 \cdot 9,81 = 27\,560 \text{ N} \quad (45)$$

$$F_{y_{nv}} = (m_v + m_n) \cdot 1 \cdot g = (161,876 + 400) \cdot 1 \cdot 9,81 = 5\,512 \text{ N} \quad (46)$$

$$F_{z_{nv}} = (m_v + m_n) \cdot 3 \cdot g = (161,876 + 400) \cdot 3 \cdot 9,81 = 16\,536 \text{ N} \quad (47)$$

4.3.3 Příprava

Nejprve jsem určil okrajové podmínky, každé z patek, které jsou tvořeny pevnou vazbou. Na obrázku 4.4 je vyobrazení okrajových podmínek. Stejně, jak je vidět na obrázku, je to u všech čtyř patek.

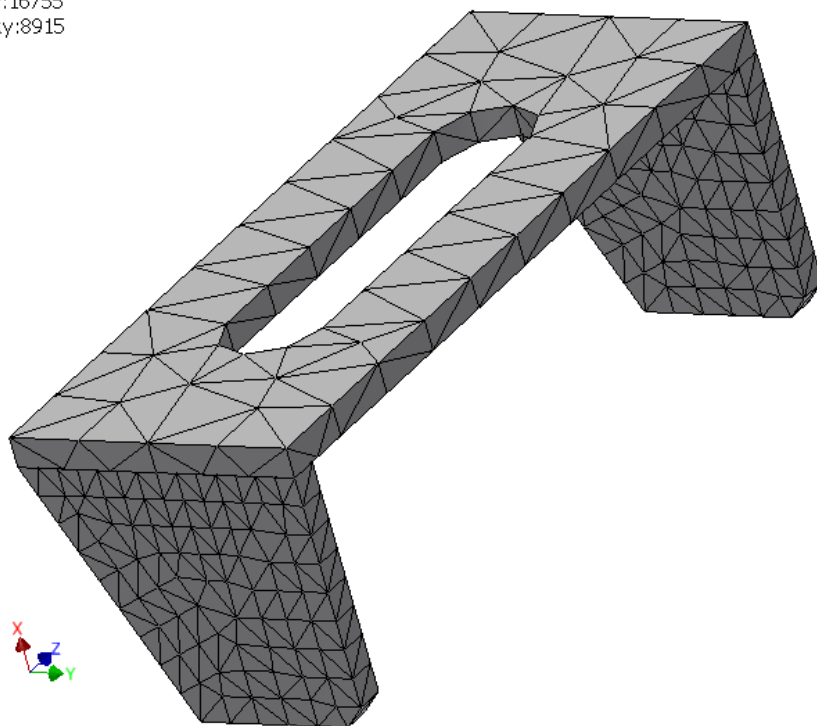


Obr. 4.4 – Okrajové podmínky

Materiálové hodnoty, které jsem zadal do programu, jsou vypsány v tabulce 4.1 v kapitole 4.2.1.

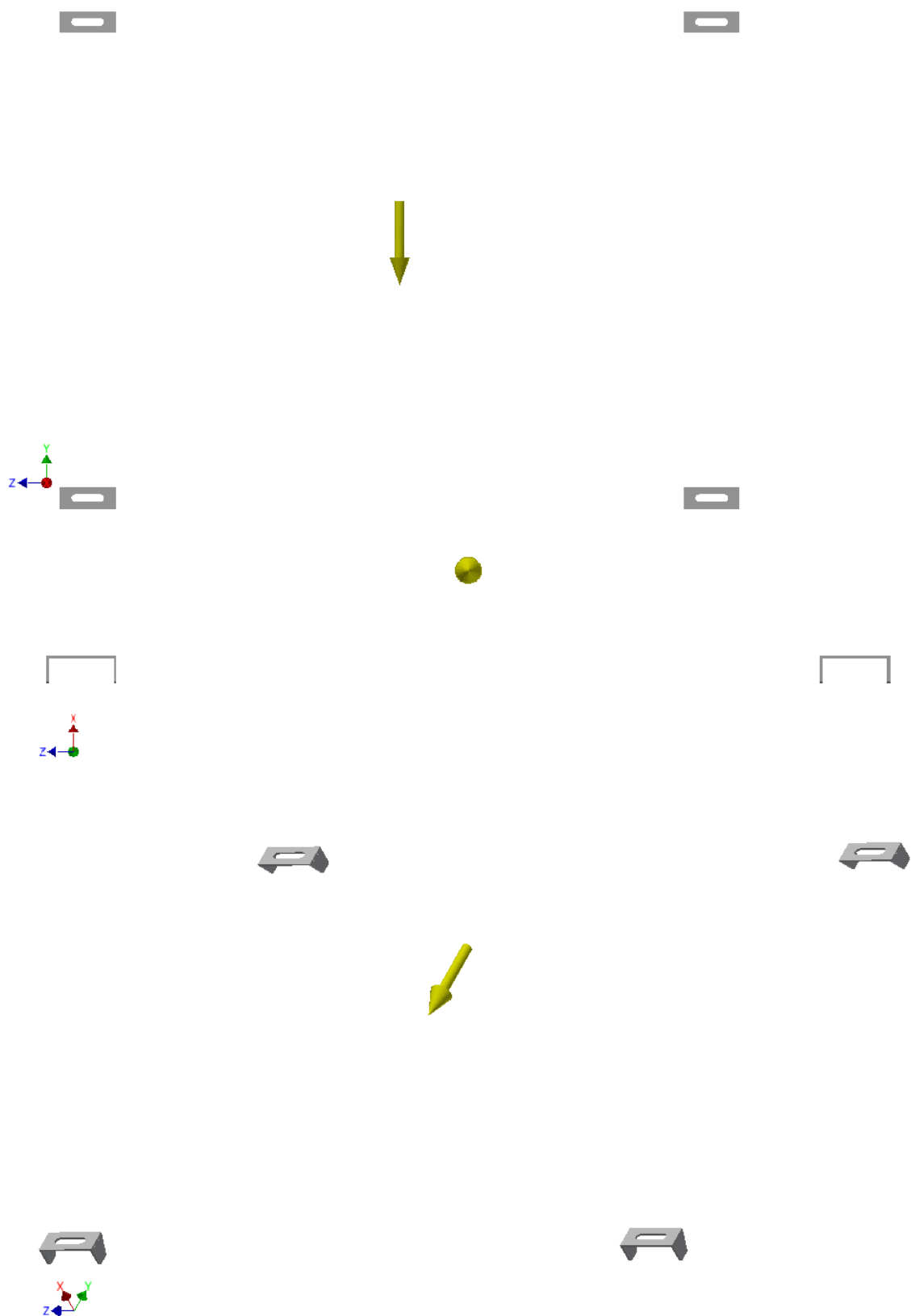
Zvolil jsem velikost sítě, kde průměrná velikost prvku byla 0,2 velikosti modelu a minimální 0,1 velikosti modelu. Model byl sítí rozdělen na 16 755 prvků s 8 915 uzly. Vzhled sítě je vidět na obrázku 4.5.

Uzly:16755
Prvky:8915

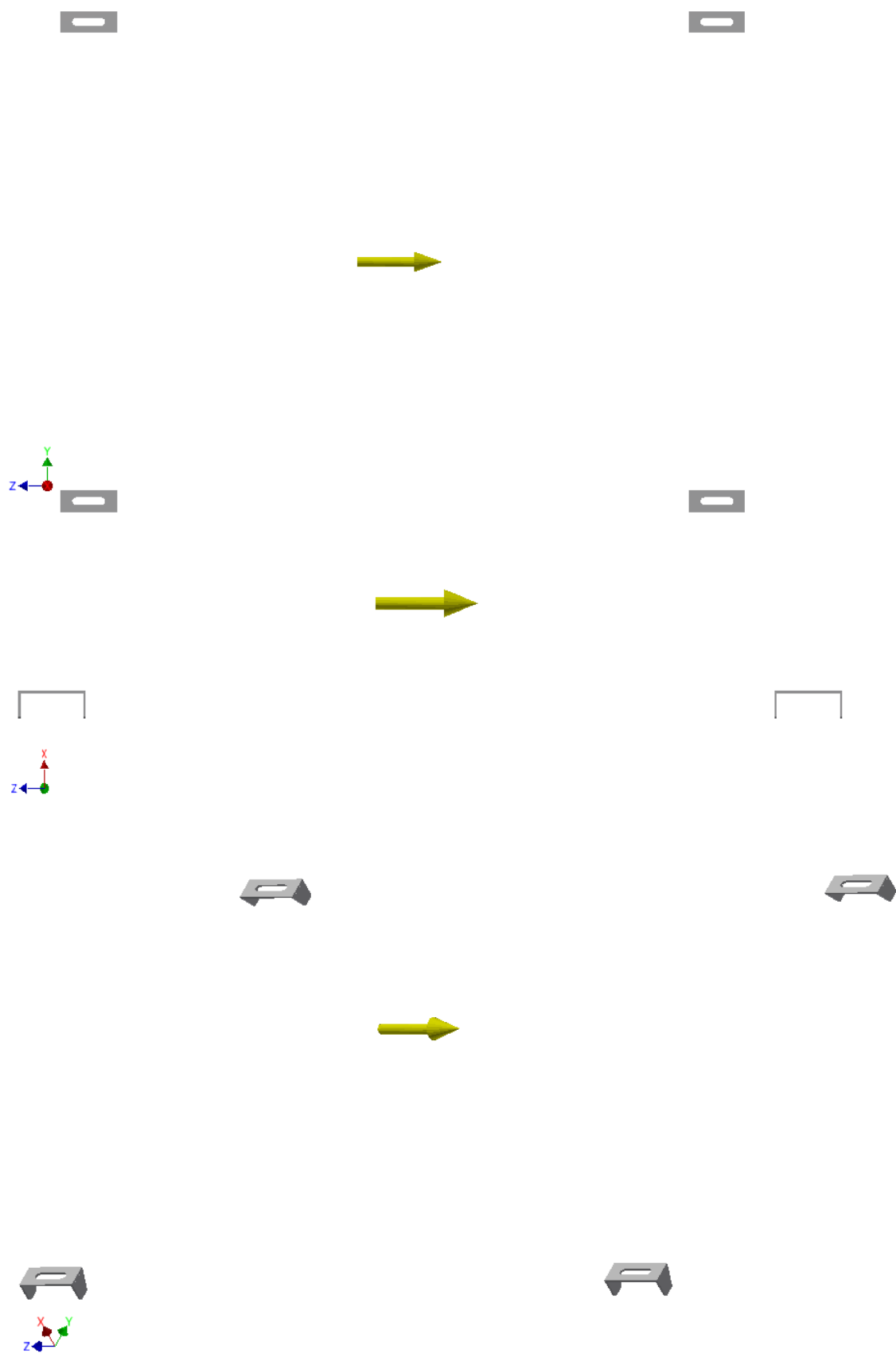


Obr. 4.5 – Výpočtová síť

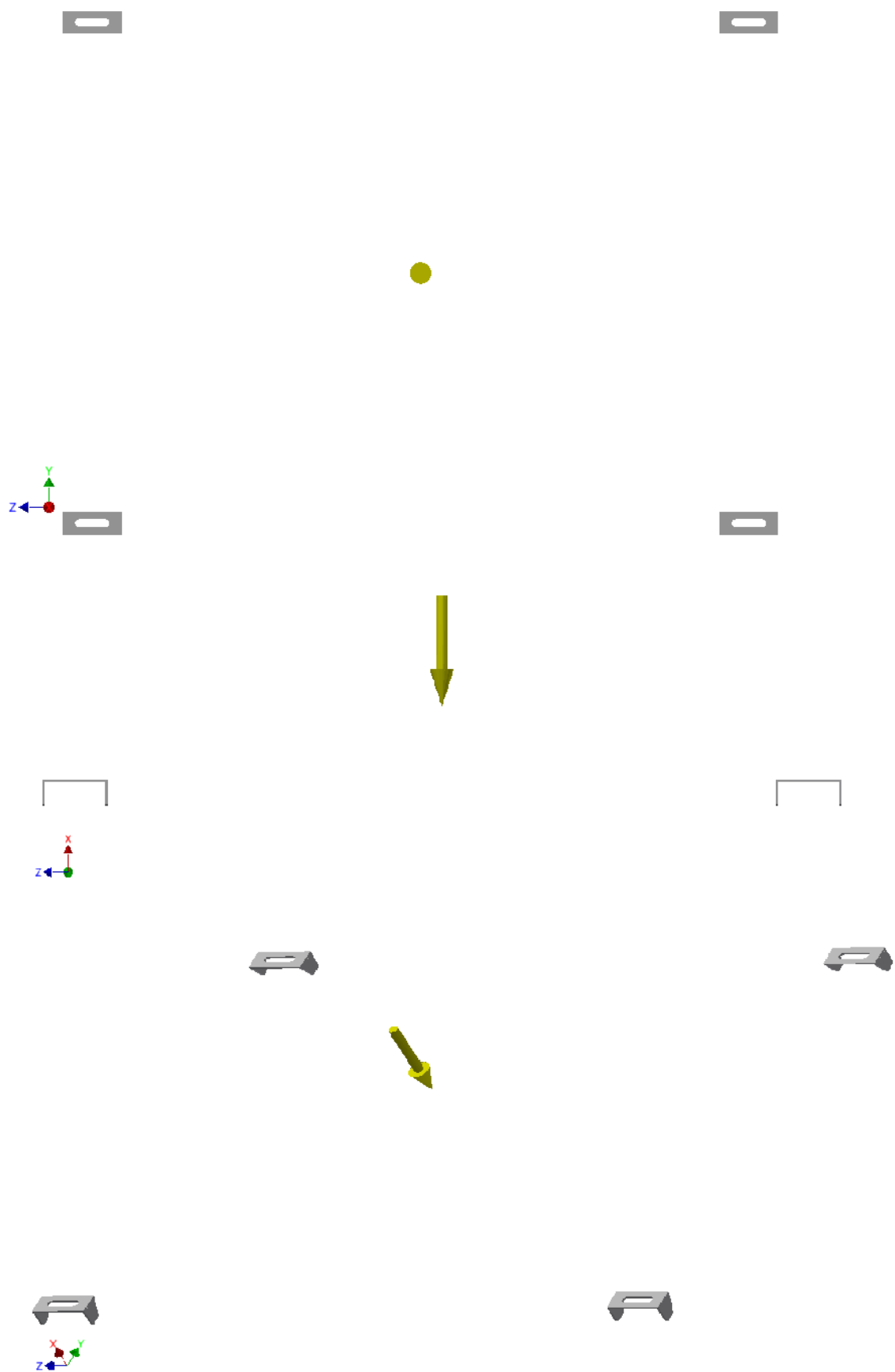
Než jsem spustil simulaci, musel jsem ještě zavést vzdálené síly do společného těžiště nádrže a vody. Na následujících obrázcích je vidět poloha a směr zatěžující síly vůči čtyřem patkám. V podélném směru na obrázku 4.6, v příčném směru na obrázku 4.7 a ve vertikálním na obrázku 4.8.



Obr. 4.6 – Zatížení v podélném směru



Obr. 4.7 – Zatížení v příčném smeru



Obr. 4.8 – Zatížení ve vertikálním směru

4.4 Výsledky pevnostní analýzy

Program vytvořil hned několik typů výsledků, ale stejně jako v kapitole 3.3, jsem vybral pro mě jen ty důležité, tak abych mohl určit, jestli patka je dostatečně pevná. A to tyto:

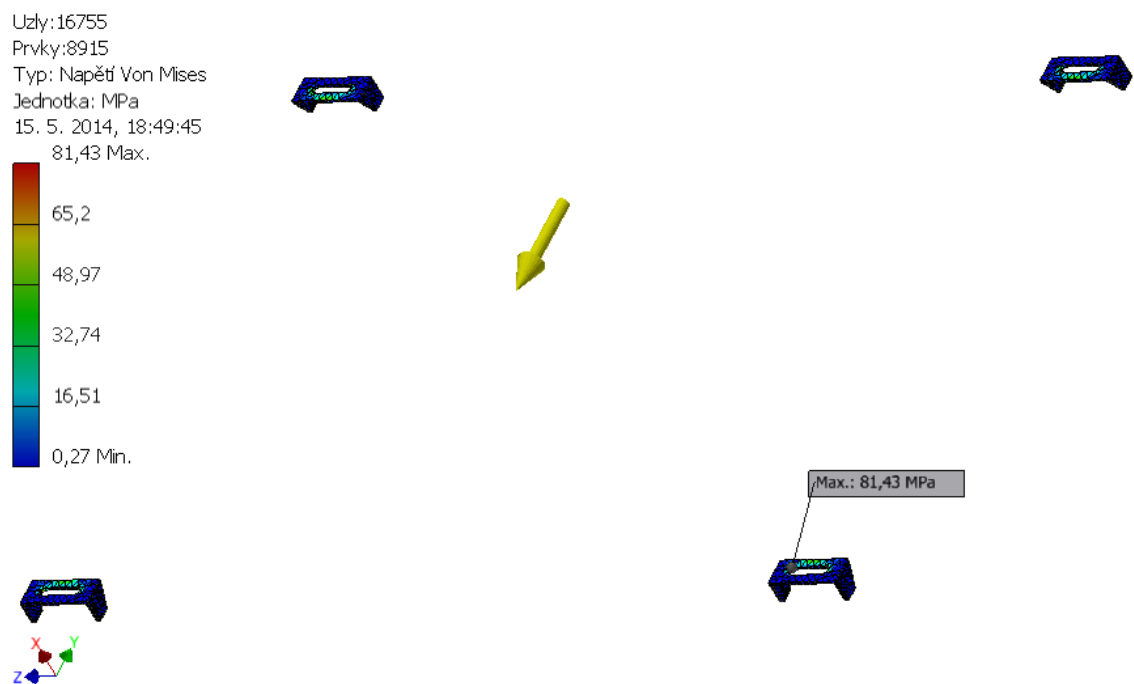
- Napětí Von Mises
- Součinitel bezpečnosti
- Posunutí

4.4.1 Výsledky v podélném směru

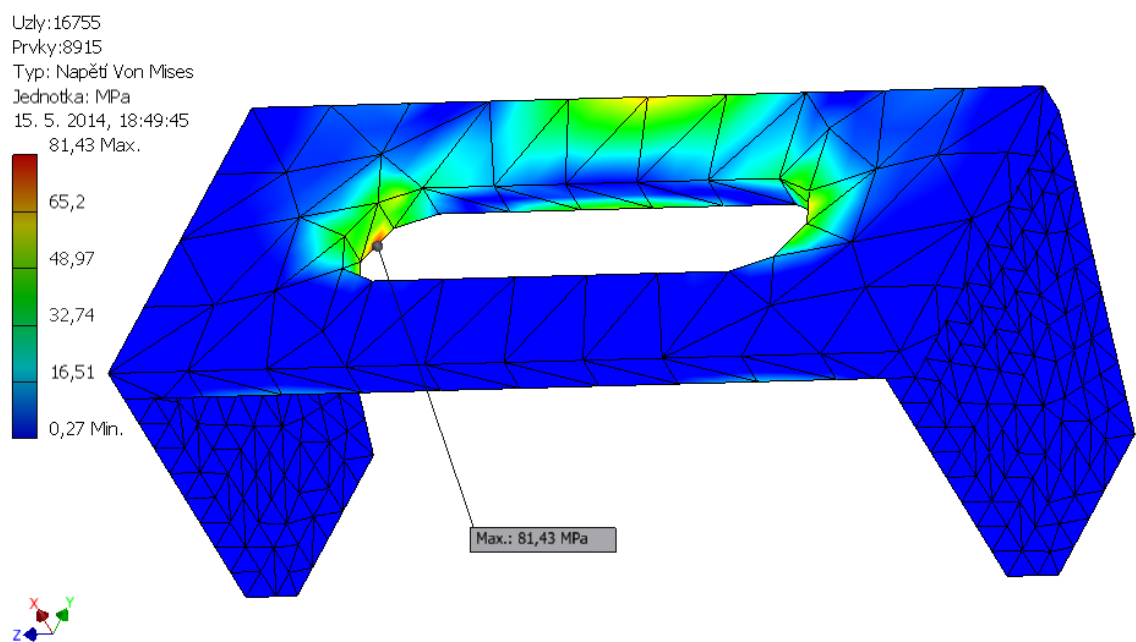
Výsledky jsou přehledně zapsány v tabulce 4.2 a doplněny obrázky.

Tab. 4.2 – Výsledky v podélném směru

Název	Max. hodnota	Jednotka	Min. hodnota	Jednotka	Obrázek č.	
					celek	detail
Napětí	81,43	MPa	0,27	MPa	4.9	4.10
Bezpečnost	15	-	3,01	-	4.11	4.12
Posunutí	0,0612	mm	0	mm	4.13	4.14

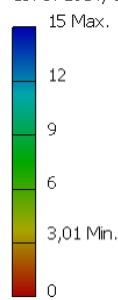


Obr. 4.9 – Zatížení Von Mises v podélném směru



Obr. 4.10 – Detail místa z největším zatížením

Uzly:16755
 Prvky:8915
 Typ: Součinitel bezpečnosti
 Jednotka: ul
 15. 5. 2014, 18:55:22

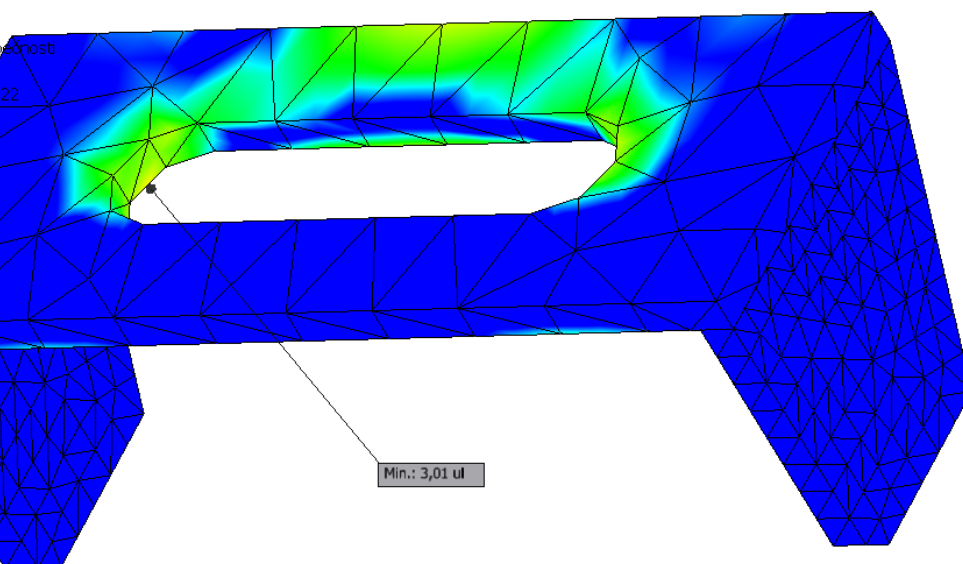
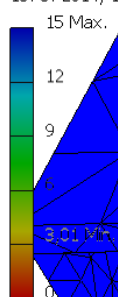


Min.: 3,01 ul



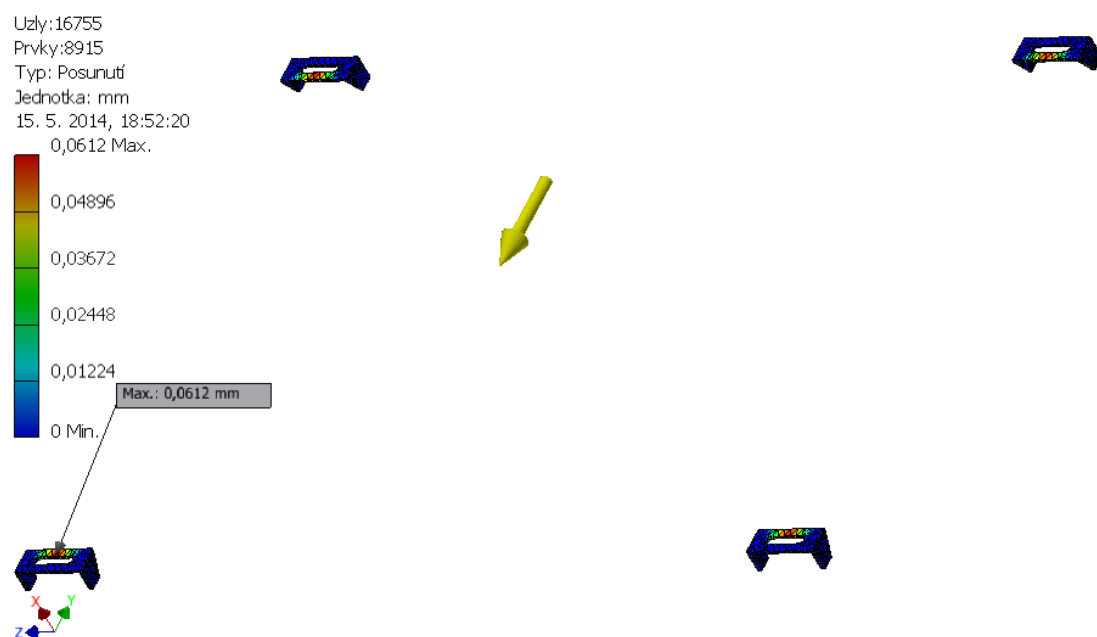
Obr. 4.11 – Součinitel bezpečnosti v podélném směru

Uzly:16755
 Prvky:8915
 Typ: Součinitel bezpečnosti
 Jednotka: ul
 15. 5. 2014, 18:55:22

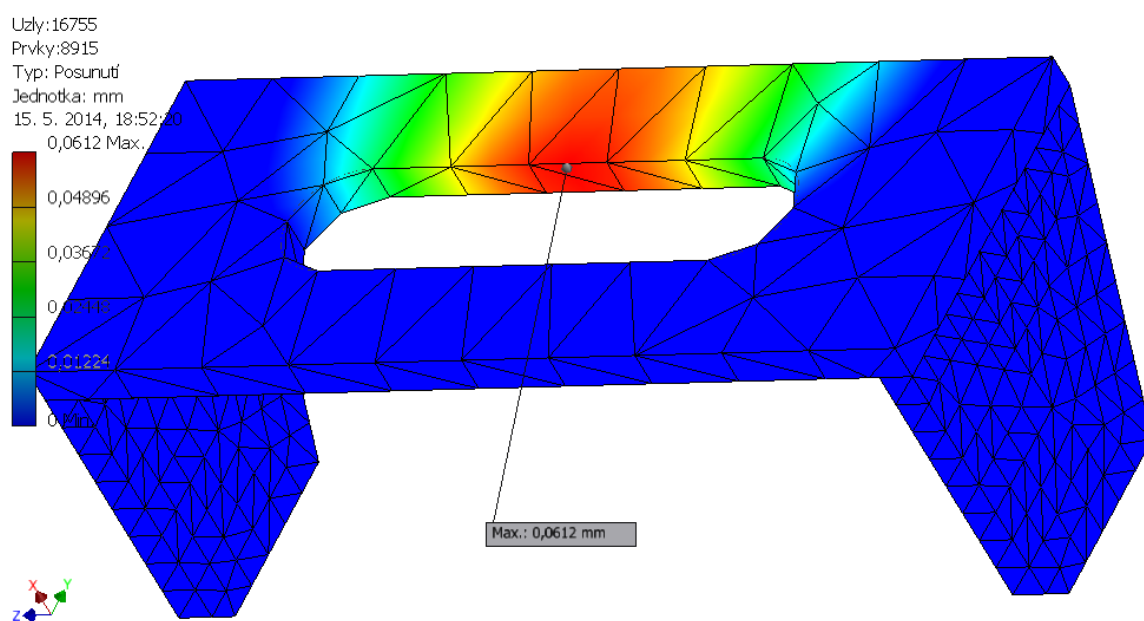


Min.: 3,01 ul

Obr. 4.12 – Místo z nejmenším součinitelem bezpečnosti



Obr. 4.13 – Posunutí v podélném směru



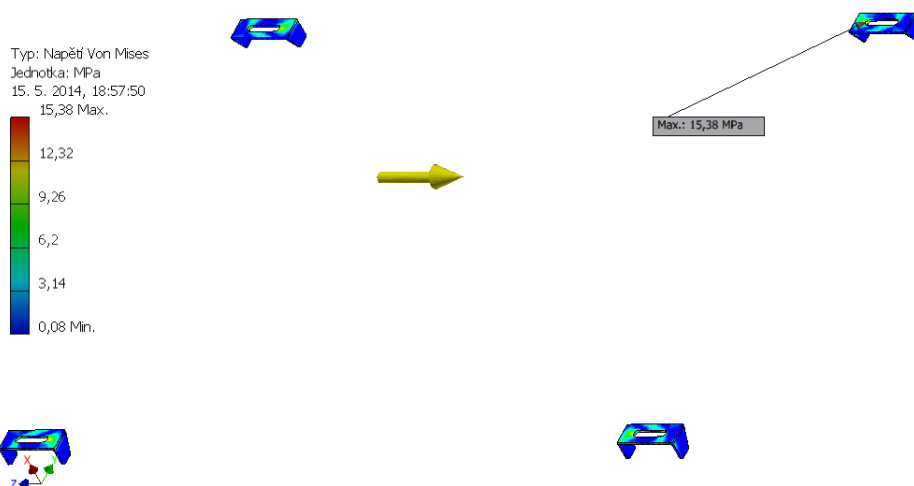
Obr. 4.14 – Místo z největším posunutím

4.4.2 Výsledky v příčném směru

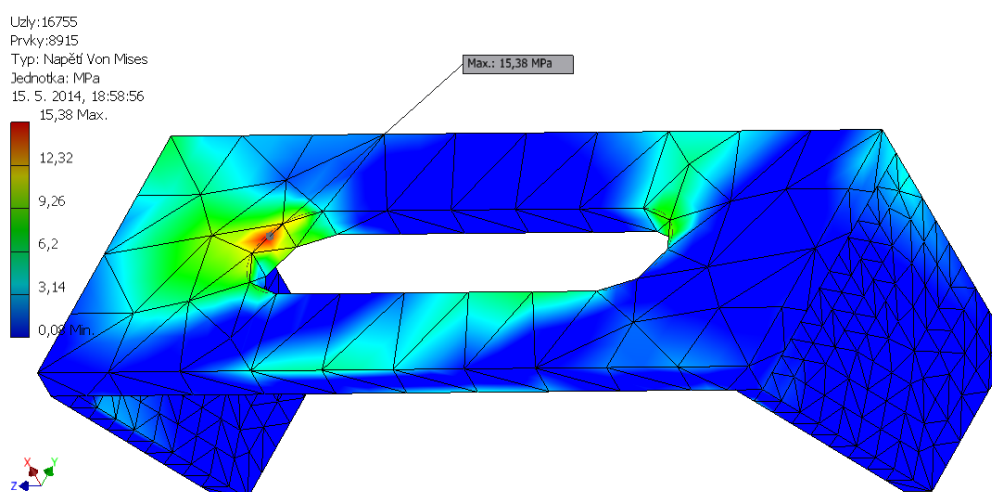
Výsledky jsou přehledně zapsány v tabulce 4.3 a doplněny obrázky.

Tab. 4.3 – Výsledky v příčném směru

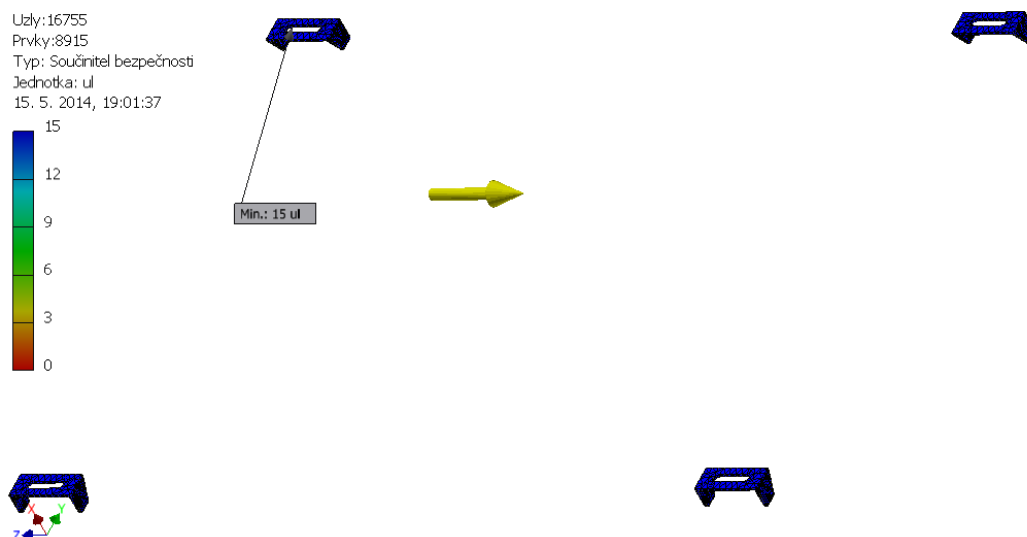
Název	Max. hodnota	Jednotka	Min. hodnota	Jednotka	Obrázek č.	
					celek	detail
Napětí	15,38	MPa	0,08	MPa	4.15	4.16
Bezpečnost	15	-	15	-	4.17	
Posunutí	0,01341	mm	0	mm	4.18	4.19



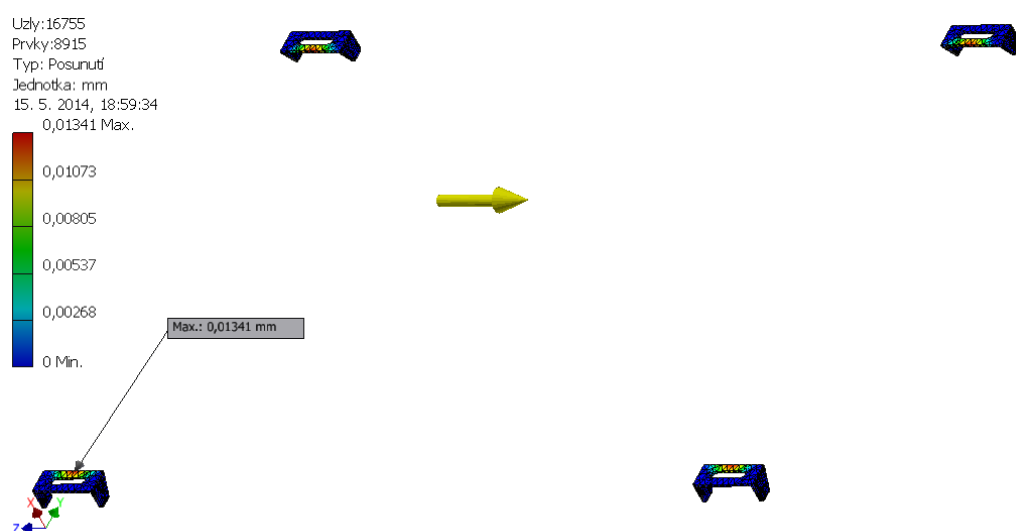
Obr. 4.15 – Napětí Von Mises v příčném směru



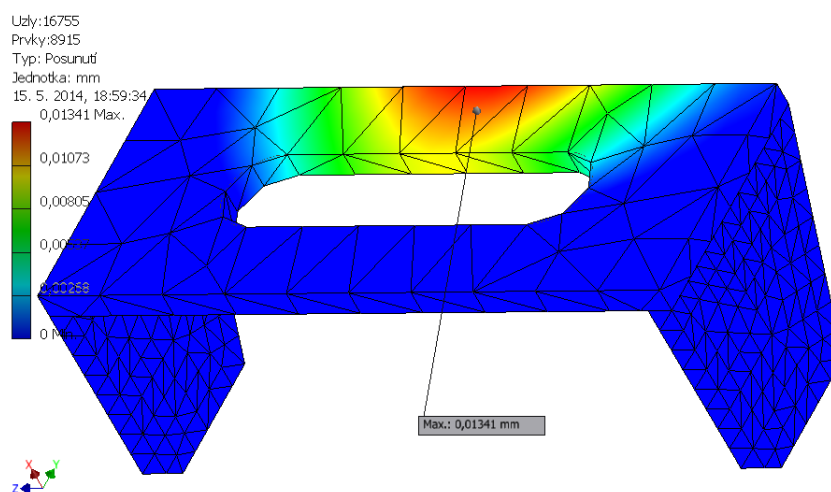
Obr. 4.16 – Detail místa z největším napětím



Obr. 4.17 – Výsledná bezpečnost v příčném směru



Obr. 4.18 – Výsledné posunutí v příčném směru



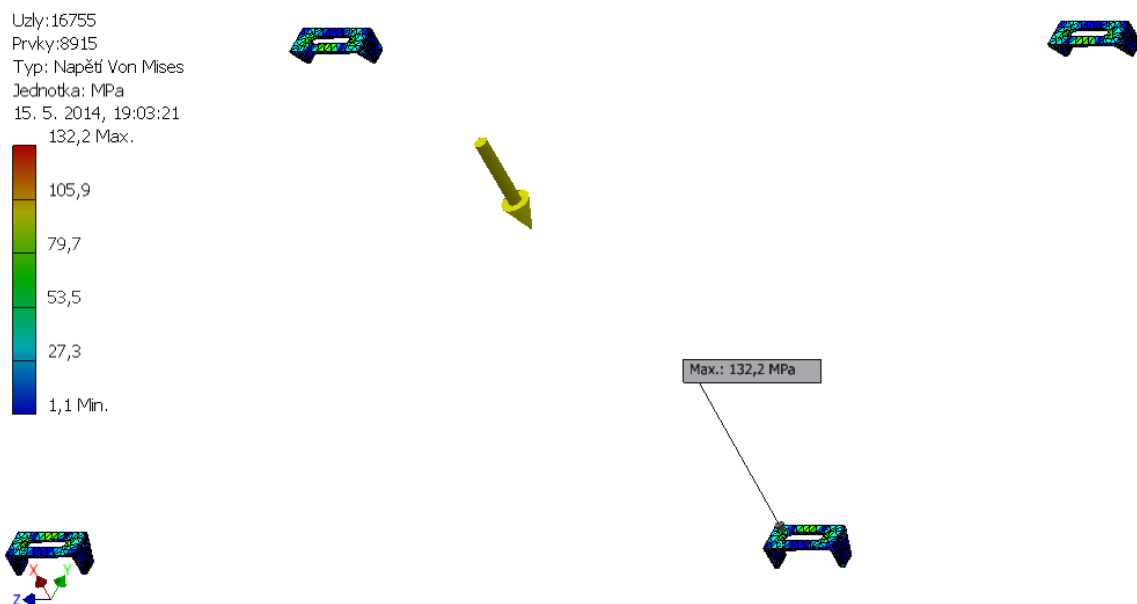
Obr. 4.19 – Detail místa z největším posunutím

4.4.3 Výsledky ve vertikálním směru

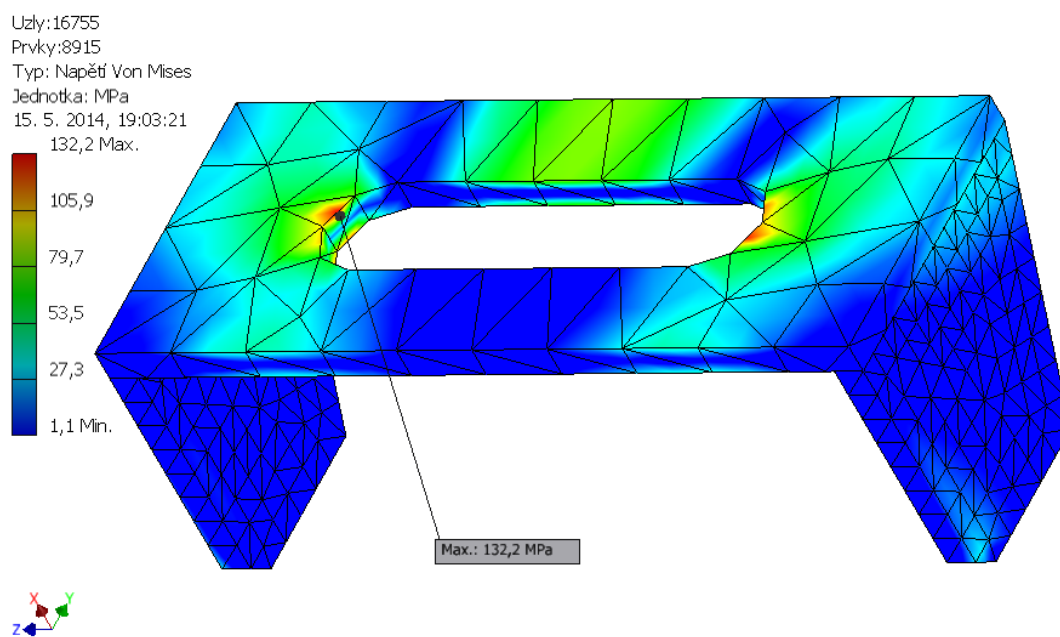
Výsledky jsou přehledně zapsány v tabulce 4.4 a doplněny obrázky.

Tab. 4.4 – Výsledky ve vertikálním směru

Název	Max. hodnota	Jednotka	Min. hodnota	Jednotka	Obrázek č.	
					celek	detail
Napětí	132,2	MPa	1,1	MPa	4.20	4.21
Bezpečnost	15	-	1,85	-	4.22	4.23
Posunutí	0,1964	mm	0	mm	4.24	4.25

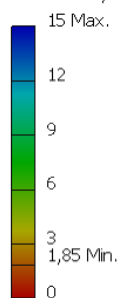


Obr. 4.20 – Napětí Von Mises ve vertikálním směru



Obr. 4.21 – Detail místa z největším napětím

Uzly:16755
 Prvky:8915
 Typ: Součinitel bezpečnosti
 Jednotka: ul
 15. 5. 2014, 19:07:56

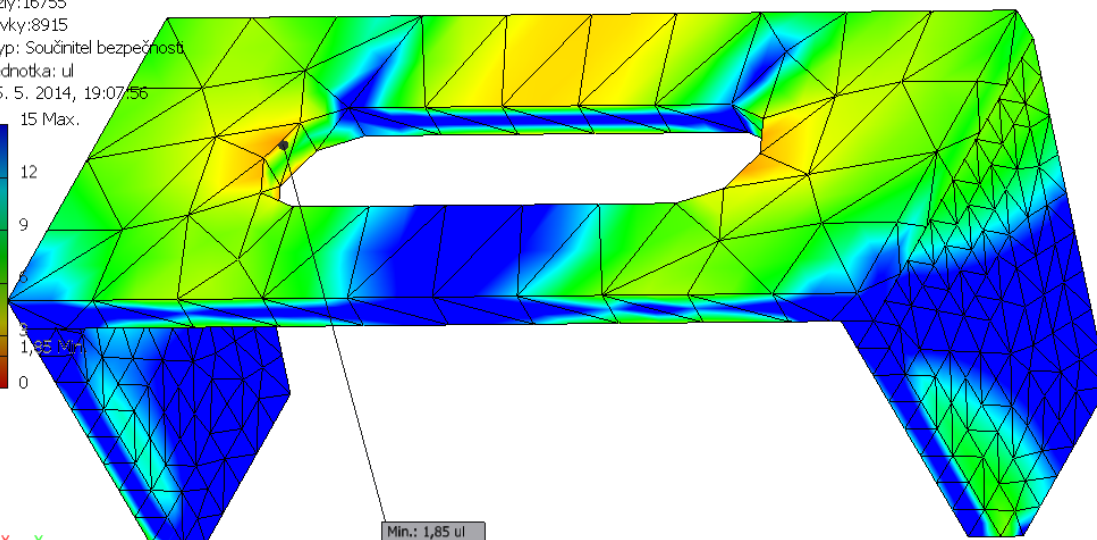
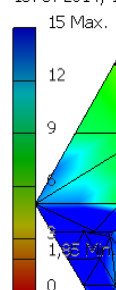


Min.: 1,85 ul



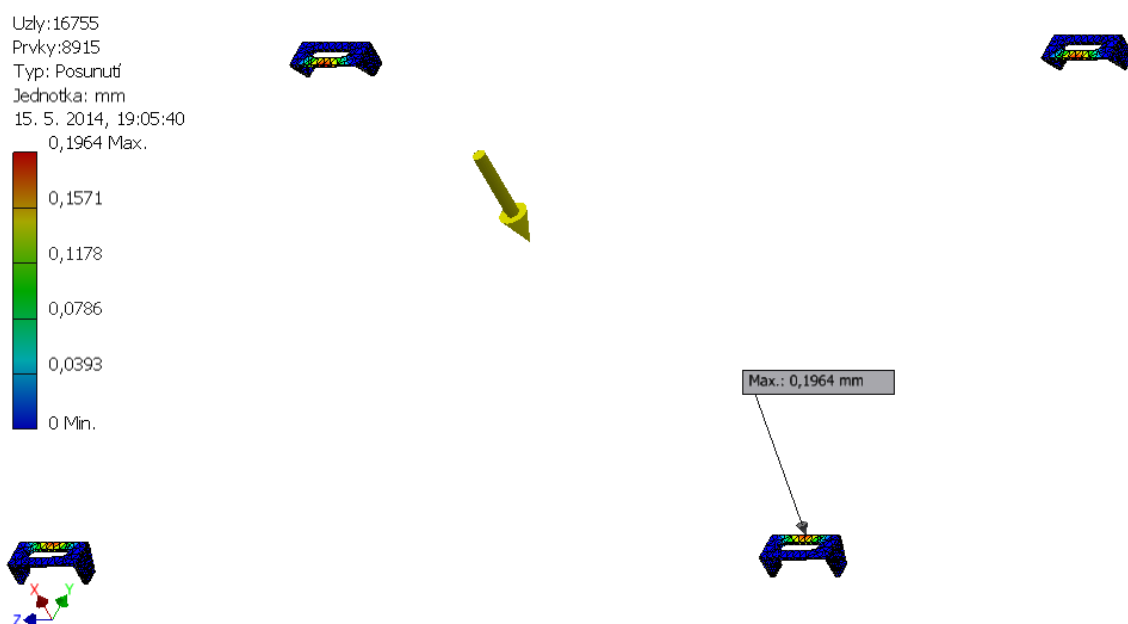
Obr. 4.22 – Součinitel bezpečnosti ve vertikálním směru

Uzly:16755
 Prvky:8915
 Typ: Součinitel bezpečnosti
 Jednotka: ul
 15. 5. 2014, 19:07:56

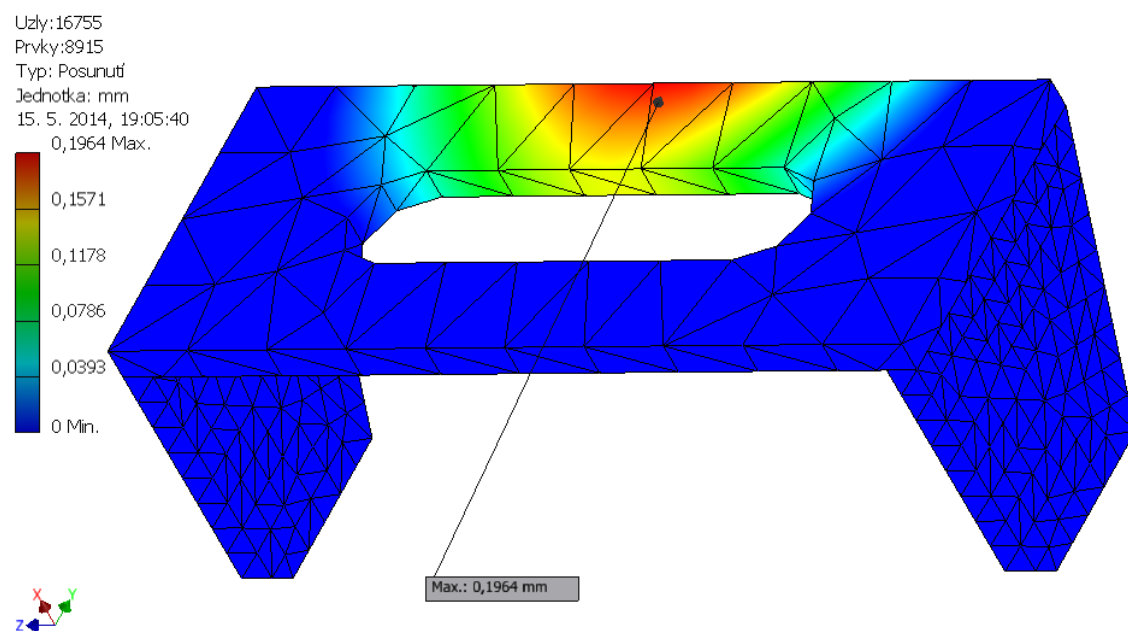


Min.: 1,85 ul

Obr. 4.23 – Detail místa s nejmenší bezpečností



Obr. 4.24 – Výsledné posunutí ve vertikálním směru



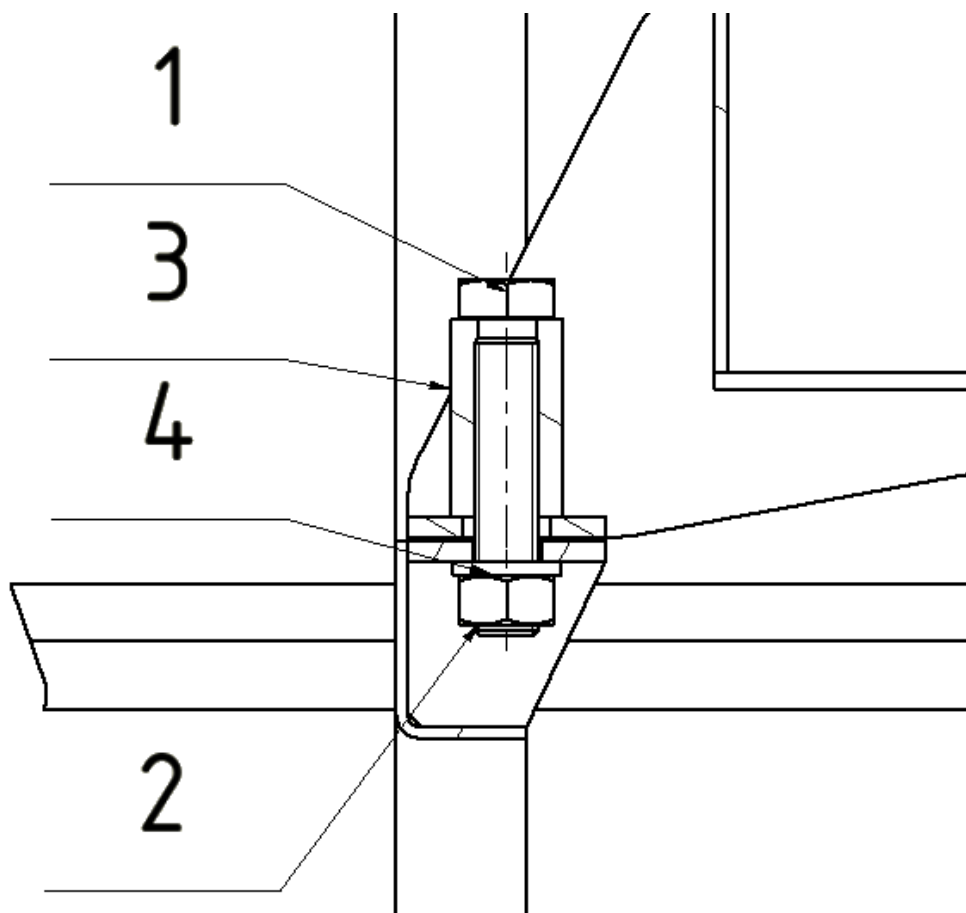
Obr. 4.25 – Detail místa z největším posunutím

Z prezentovaných výsledků je patrné, že patka dané zatížení vyvolané plnou nádrží, podle vyhlášky UIC 566 [4] vydrží.

5 Spojení nádrže s hrubou stavbou vozu

Nádrž je s hrubou stavbou spojena za pomoci předepjatého šroubového spoje. Šroubový spoje je realizován tak, jak je znázorněno na obrázku 5.1, pomocí těchto součástí:

- Šroub M16x80 80 DIN 933/A4 (1)
- Matice M16 80 DIN 934/A4 (2)
- Ocelová vložka (3)
- Podložka 16.2 DIN 127B/A4 (4)



Obr. 5.1 – Šroubový spoj

5.1 Materiál šroubového spoje

Šroubový spoj je realizován opět za pomoci nerezových dílů. Třída chemického složení A4 zaručuje nejvyšší kvalitu, a proto nebude docházet při styku nádrže s těmito částmi k bimetalické korozi. Pevnostní třída 80 nám zaručuje tu největší možnou pevnost, kterou lze dosáhnout u nerezů s chemickým složením A4. Její mechanické hodnoty jsou znázorněny v tabulce 5.1 [8].

Tab. 5.1 – Mechanické vlastnosti materiálu 80/A4

Název	Zkratka	Hodnota	Jednotka
Mez pevnosti v tahu	R_m	800	MPa
Mez kluzu v tahu	R_e	640	MPa

5.2 Kontrola šroubu

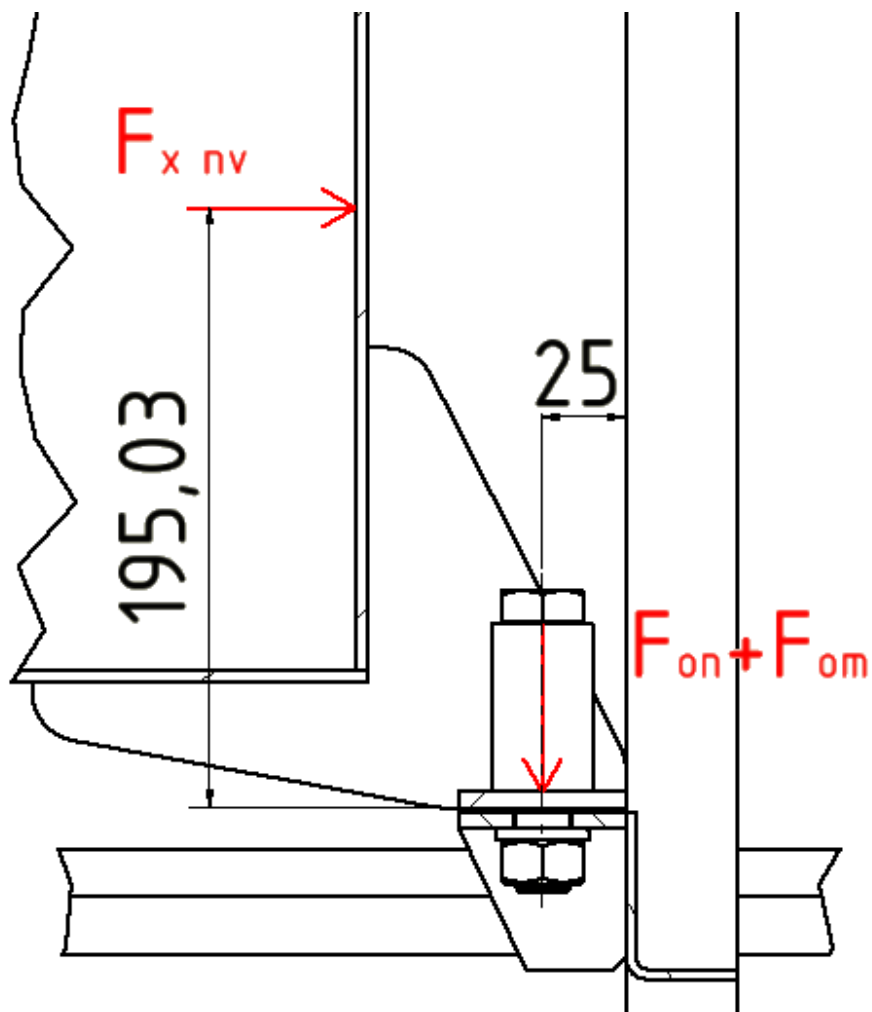
Nejvíce bude šroub zatížen od podélného přetížení podle vyhlášky UIC 566[4]. Šroub tentokrát není zatížen pouze od hmotnosti vody v nádrži, ale také od hmotnosti nádrže, která je 161,876 kg. Síla zde také nepůsobí v místě spoje proto osová síla F_{oc} , bude složená z osově síly, která brání posunutí F_{on} a také z osově síly, která zachycuje vzniklý moment F_{om} .

5.2.1 Určení působíště zatěžující síly a její velikost

Síla působí ve výšce společného těžiště podélného směru. Výpočet těžiště jsem provedl pomocí vzorce (36) v kapitole 4.3.1 a má hodnotu 195,03 mm. Velikost působící síly v podélném směru jsem vypočetl pomocí vzorce (45) v kapitole 4.3.2.

5.2.2 Výpočet osově síly jednoho šroubu

Rozložení sil pro výpočet osově síly je vidět na obrázku 5.2.



Obr. 5.2 – Rozložení sil

Výpočet osově síly F_{om}

Hodnoty: $F_{x\,nv} = 27\,560$ N $a = 195,03$ mm $b = 25$ mm

$$F_{om} \cdot b = F_{x\,nv} \cdot a \quad (48)$$

$$F_{om} = \frac{F_{x\,nv} \cdot a}{b} = \frac{27\,560 \cdot 195,03}{25} = 215\,001 \text{ N} \quad (49)$$

Výpočet osově síly F_{on}

U výpočtu osově síly F_{on} , která brání posunu, volím bezpečnost 1,2 a tím, že mezi dosedací plochou nádrže a dosedací plochou rámu bude plastová vložka z PVC, volím součinitel tření 0,6.

Hodnoty: $F_{x\,nv} = 27\,560\text{ N}$ $k = 1,2$ $f = 0,6$

$$F_{on} = \frac{k \cdot F_{x\,nv}}{f} = \frac{1,2 \cdot 27\,560}{0,6} = 55\,120\text{ N} \quad (50)$$

Výpočet celkové osově síly F_{oc}

Hodnoty: $F_{om} = 215\,001\text{ N}$ $F_{on} = 55\,120\text{ N}$

$$F_{oc} = F_{om} + F_{on} = 215\,001 + 55\,120 = 270\,121\text{ N} \quad (51)$$

Výpočet osově síly jednoho šroubu F_o

Vypočetl jsem si celkovou osovou sílu, kterou budu ale přenášet ne jedním, ale 8 šrouby.

Hodnoty: $F_{oc} = 270\,121\text{ N}$ $i = 8$

$$F_o = \frac{F_{oc}}{i} = \frac{270\,121}{8} = 33\,765\text{ N} \quad (52)$$

5.2.3 Úplná pevnostní kontrola šroubu M16x80 80 DIN 933/A4

Napětí v tlaku

Hodnoty: $F_o = 33\,765\text{ N}$ $d_3 = 13,546\text{ mm}$

$$\sigma_t = \frac{F_o}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} = \frac{4 \cdot 33\,765}{\pi \cdot 13,546^2} = 234,3\text{ MPa} \quad (53)$$

Napětí v krutu

Hodnoty: $F_o = 33\,765\text{ N}$ $d_2 = 14,701\text{ mm}$ $d_3 = 13,546\text{ mm}$ $P_h = 2\text{ mm}$
 $f_z = 0,19$ $\beta = 60^\circ$

$$\psi = \tan^{-1} \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} = \tan^{-1} \frac{2}{\pi \cdot 14,701} = 2,48^\circ \quad (54)$$

$$\varphi' = \tan^{-1} \frac{f_z}{\cos \frac{\beta}{2}} = \tan^{-1} \frac{0,19}{\cos \frac{60}{2}} = 12,325^\circ \quad (55)$$

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} = \frac{8 \cdot F_o \cdot \tan(\psi + \varphi') \cdot d_2}{\pi \cdot d_3^3} = \frac{8 \cdot 33\,765 \cdot \tan(2,48 + 12,325) \cdot 14,701}{\pi \cdot 13,546^3} = 134,4\text{ MPa} \quad (56)$$

Výpočet redukovaného napětí a porovnání s dovoleným napětím

Redukované napětí vypočtu podle Guestovi metody.

Hodnoty: $\sigma_t=234,3$ MPa $\tau=134,4$ MPa $R_e=640$ MPa [8] $k_s=1,5$

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{234,3^2 + 4 \cdot 134,4^2} = 356,6 \text{ MPa} \quad (57)$$

$$\sigma_{RED} \leq \frac{R_e}{k_s} = \frac{640}{1,5} \quad (58)$$

$$356,6 \leq 426,7 \quad (59)$$

Podle výsledku rovnice (59) šroub M16x80 80 DIN 933/A4 vyhovuje a vydrží předepsané přetížení.

5.2.4 Stanovení utahovacího momentu

Pro vytvoření požadovaného přepětí je potřeba, aby byl šroubový spoj utažen požadovaným utahovacím momentem. Vypočtený poté porovná s maximálním dovoleným utahovacím momentem.

Hodnoty: $F_o = 33\,765$ N $\psi=2,48^\circ$ $\varphi'=12,325^\circ$ $d_2=14,701$ mm

$f=0,19$ [7] $s_k=24$ mm $d_o=16,2$ mm $M_{u\max}=193$ Nm

$$D_s = \frac{s_k + d_o}{2} = \frac{24 + 16,2}{2} = 20,1 \text{ mm} \quad (60)$$

$$M_u = F_o \cdot \tan(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} + F_o \cdot f \cdot \frac{D_s}{2} = 33\,765 \cdot \tan(2,48 + 12,325) \cdot \frac{14,701}{2} + 33\,765 \cdot 0,19 \cdot \frac{20,1}{2} = 130\,072 \text{ Nmm} = 130 \text{ Nm} \quad (61)$$

$$M_{u\max} \geq M_u \quad (62)$$

$$193 \text{ Nm} \geq 130 \text{ Nm} \quad (63)$$

Podle výsledku rovnice (63) je možné utáhnout šroub vypočteným momentem 130 Nm.

5.3 Kontrola plastové vložky

Jak už bylo zmíněno výše v kapitole 5.2.2, mezi dosedací plochy nádrže a rámu je vložena milimetr silná plastová vložka z PVC. Tato vložka je zde vložena, aby nedocházelo k bimetalické korozi, mezi dosedacími plochami, ke které by jinak došlo, jelikož nádrž, je z kvalitní nerezavějící oceli a rám je z konstrukční oceli.

Dodavatelem polotvaru pro tuhle vložku bude firma TITAN – MULTIPLAST s.r.o. Z jejich internetových stránek je i obrázek 5.3, na kterém jsou uvedeny mechanické hodnoty dodávaného materiálu[13].

Mechanické vlastnosti

	Norma	Jednotka	Hodnota
Hustota	ISO 1183	g/cm ³	1,47
Pevnost v tahu	ISO 527 - 1	N/mm ²	> 55
Tažnost	ISO 527 - 1	%	> 20
Modul pružnosti v tahu (E modul)	ISO 527 - 1	N/mm ²	> 3100
Vrubová houževnatost	ISO 179	mJ/mm ²	> 4
Tvrdost kuličkou 30s	ISO 2039 - 1	N/mm ²	120
Tvrdost Shore D	ISO 868		85

Obr. 5.3 – Mechanické vlastnosti PVC

Výpočet dovoleného tlaku p_{dov}

Ve výpočtu používám vztahy pocházející z učebního textu SSPU – Opava[14]. Ve výpočtu volím bezpečnost 1,3.

Hodnoty: $R_m=55 \text{ Mpa}$ $k=1,3$

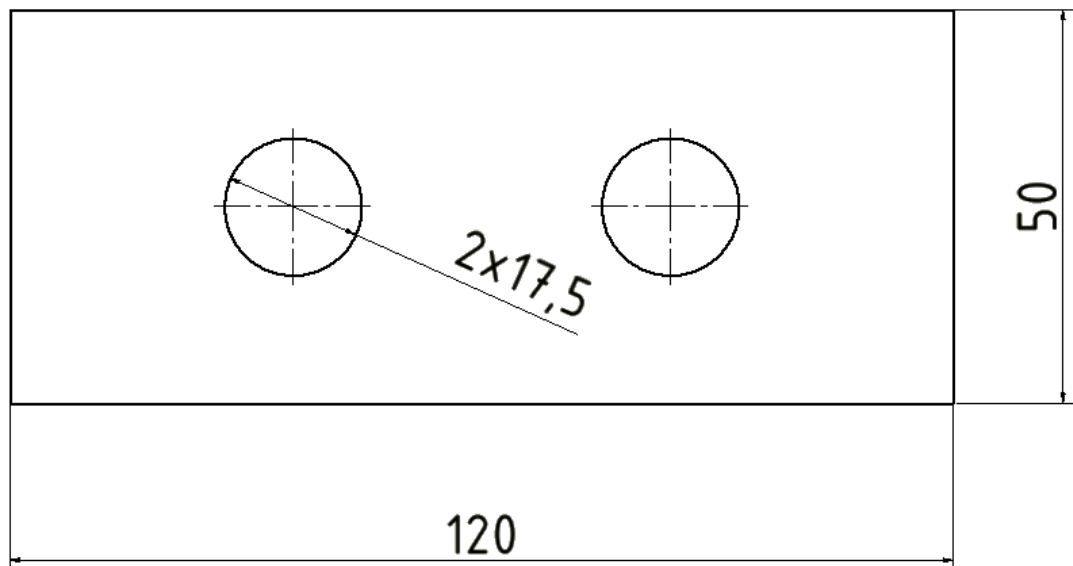
$$R_e = 0,6 \cdot R_m = 0,6 \cdot 55 = 33 \text{ MPa} \quad (64)$$

$$\sigma_{dov t} = \frac{R_e}{k} = \frac{33}{1,3} = 25,4 \text{ MPa} \quad (65)$$

$$p_{dov} = 0,9 \cdot \sigma_{dov t} = 0,9 \cdot 25,4 = 22,85 \text{ MPa} \quad (66)$$

Výpočet tlaku a porovnání s dovoleným tlakem

Tlak, který působí na plastovou vložku je vyvolán osovou silou v ukotvovacím šroubu M16x40 80 DIN 933/A4. Tyto šrouby jsou dva, takže na plochu působí dvě osově síly. Rozměry vložky jsou patrné z obrázku 5.4.



Obr. 5.4 – Rozměry plastové vložky

Hodnoty: $F_o = 33\,765\text{ N}$ $a = 120\text{ mm}$ $b = 50\text{ mm}$ $d = 17,5\text{ mm}$
 $p_{dov} = 22,85\text{ MPa}$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{2 \cdot F_o}{a \cdot b - 2 \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4}} = \frac{2 \cdot 33\,765}{120 \cdot 50 - 2 \cdot \pi \cdot \frac{17,5^2}{4}} = 12,24\text{ MPa} \quad (67)$$

$$p \leq p_{dov} \quad (68)$$

$$12,24\text{ MPa} \leq 22,85\text{ MPa} \quad (69)$$

Podle rovnice (60) je patrné, že plastová vložka vzniklí tlak vydrží.

6 Obsazení vozu

Z vyhlášky UIC 563 [3] vyplívá, že na určitý objem nádrže může být ve voze jen určitý počet sedadel. V mém řešení je zadaný objem nádrže, a tak musím dopočítat počet sedadel, který může být maximálně ve voze. Vyhláška uvádí, že každou z toalet ve voze použije jen čtvrtina z maximálního počtu cestujících za hodinu provozu. Vlaky pro dálkovou rychlostní dopravu jsou podle normy v provozu 16 hodin denně. Voda do nádrže se dopouští pravidelně každý den. Objem vody pro spláchnutí toalety je stanoven na 0,4 litrů a objem vody na umytí rukou je stanoven na 0,3 litrů. Ve voze zadaného typu, jsou dvě sociální zařízení, které jsou napájeny z jedné nádrže. Na základě těchto informací jsem sestavil následující vzorec (70) a dosadil výše uvedené hodnoty.

$$0,25 \cdot s \cdot h \cdot (V_r + V_w) \cdot d = \frac{V}{2} \quad (70)$$

$$0,25 \cdot s \cdot 16 \cdot (0,3 + 0,4) \cdot 1 = \frac{400}{2} \quad (71)$$

$$s = \frac{400}{2 \cdot 0,25 \cdot 16 \cdot (0,3 + 0,4) \cdot 1} = 71,43 \quad (72)$$

Po vyjádření neznámé s , která znamená počet sedadel ve voze, ve vzorci (72), jsem došel k závěru, že ve voze může být umístěno pouze 71 sedadel pro cestující.

7 Závěr

Ve své diplomové práci jsem navrhl vodojem o objemu 400 litrů, který slouží k zásobování sociálního zařízení ve vlakových vozech typu AMPZ/BMZ.

Mnou navrženou nádrž jsem podrobil pevnostní analýze pomocí metody konečných prvků. Zkontroloval jsem taky všechny použité šrouby.

Během práce jsem musel i upravit ocelovou hrubou stavbu. Mnou navržené úpravy jsem taky zkontroloval pomocí metody konečných prvků.

Při práci jsem dbal na správnou volbu materiálu, který je vhodný pro styk s vodou. Taký jsem se řídil normami, které se zabývají problematikou kolejových vozidel, pak především těmi zaměřenými na sociální zařízení vozů.

Mnou navržený vodojem váží 161,876 kg. Maximální hmotnost nebyla zadána, ale protože hmotnost vlaku jako celku, je zadána zadavatelem, je možné na nádrži provést jisté konstrukční úpravy tak, aby nádrž byla lehčí, pokud bude potřeba.

8 Literatura

- [1] DIN 25 043-2. *Reisezug und Triebwagen Vermessen beim Neubau: Meßvorgänge*. Berlin: Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag GmbH, 1992.
- [2] ČSN EN ISO 13 920. *Svařování - Všeobecné tolerance svařovaných konstrukcí: Délkové a úhlové rozměry - Tvar a poloha*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [3] UIC 563. *Fittings provided in coaches in the interest of hygiene and cleanliness*. 8. vyd. 1990.
- [4] UIC 566. *Loadings of coach bodies and their components*. 3. vyd. 1990.
- [5] Nerezové profily. *NOVEL* [online]. 2010 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.novel.sk/nerezove-profily/#2>
- [6] ČSN EN 10088 - 2. *Korozivzdorné oceli - Část 2: Technické dodací podmínky pro plech a pás z ocelí odolných korozi pro všeobecné použití*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [7] Technická příručka. *ESAB* [online]. 2009 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://products.esab.com/ESABImages/nerezy2012.pdf>
- [8] Nerezavějící ocel. *Nerezové šrouby* [online]. 2010 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.nerezovesrouby.cz/slovník/nerezavejici-ocel/>
- [9] Stavba a provoz strojů 2: Mechanické převody točivého pohybu Distanční text. *Spssol* [online]. 2007 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: http://www.spssol.cz/~vyuka/PREDMETY/SPS/mechanicke_prevody_tociveho_pohybu.pdf
- [10] PLOVÁKOVÝ HLADINOMĚR TMR TC INOX. *Merecom* [online]. 2007 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: http://www.merecom.cz/produkt.php?product_id=41
- [11] LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2005, 907 s. ISBN 80-736-1011-6.

- [12] Výběr nejpoužívanějších svařovacích materiálů. *ESAB* [online]. 20. vyd. 2014 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://products.esab.com/ESABImages/Vyber2014.pdf>
- [13] Desky, tyče a profily z PVC. *TITAN - MULTIPLAST* [online]. 2014 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: http://www.titan-multiplast.cz/produkty/vyroba-technologickych-nadrzi-24/desky-tyce-a-profil-y-pvc-107/#tab_catalogue-detail-specifications
- [14] Mechanika II: Výukový manuál. *SSPU - Opava* [online]. 2009 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: http://www.sspu-opava.cz/UserFiles/File/Mechanika_II_vyukovy_manual_na_SSPU_Opava.pdf

9 Seznam příloh

9.1 Tištěné přílohy

Příloha v tištěné podobě obsahuje výkresy.

<i>Název výkresu</i>	<i>Číslo výkresu</i>
UCHYCENÍ	KLE0013-0-0-001
NÁDRŽ	KLE0013-1-1-002
SPODEK NÁDRŽE	KLE0013-2-1-003

9.2 Přiložený disk

- Diplomová práce v elektronické podobě (formát*.pdf)
- Výkresová dokumentace (formát*.pdf)
- 3D model vodojemu